



Le risque grippal en France métropolitaine : étude géographique d'un risque sanitaire saisonnier.

Benjamin Lysaniuk

► **To cite this version:**

Benjamin Lysaniuk. Le risque grippal en France métropolitaine : étude géographique d'un risque sanitaire saisonnier.. Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2009. Français. <tel-00588892>

HAL Id: tel-00588892

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00588892>

Submitted on 26 Apr 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université Paris I Panthéon-Sorbonne
Ecole Doctorale de Géographie de Paris Centre
UMR 8185 CNRS - Espaces, Nature, Culture

**LE RISQUE GRIPPAL EN FRANCE
METROPOLITAINE :
ETUDE GEOGRAPHIQUE D'UN RISQUE SANITAIRE
SAISONNIER**

Thèse préparée et soutenue publiquement le 5 décembre 2009 par

BENJAMIN LYSANIUK

Sous la direction du Professeur Martine Tabeaud

Pour l'obtention du grade de Docteur en Géographie de l'Université Paris I

Membres du jury :

Fabian Alvarez - Docteur ès Sciences, Sanofi-Aventis

Jeanne Marie Amat Roze Professeure des Universités, Paris 12 (rapporteuse)

Jean-Pierre Besancenot - Directeur de Recherche, CNRS

Anne Strauss - Professeure des Universités, Paris 6

Stanislas Wicherek - Directeur de Recherche, CNRS (rapporteur)



Université Paris I Panthéon-Sorbonne
Ecole Doctorale de Géographie de Paris Centre
UMR 8185 CNRS - Espaces, Nature, Culture

**LE RISQUE GRIPPAL EN FRANCE
METROPOLITAINE :
ETUDE GEOGRAPHIQUE D'UN RISQUE SANITAIRE
SAISONNIER**

Thèse préparée et soutenue publiquement le 5 décembre 2009 par

BENJAMIN LYSANIUK

Sous la direction du Professeur Martine Tabeaud

Pour l'obtention du grade de Docteur en Géographie de l'Université Paris I

Membres du jury :

Fabian Alvarez - Docteur ès Sciences, Sanofi-Aventis

Jeanne Marie Amat Roze Professeure des Universités, Paris 12 (rapporteuse)

Jean-Pierre Besancenot - Directeur de Recherche, CNRS

Anne Strauss - Professeure des Universités, Paris 6

Stanislas Wicherek - Directeur de Recherche, CNRS (rapporteur)

A mes grands parents, Nelly et Michel Lysaniuk

REMERCIEMENTS

En premier lieu, mes plus sincères remerciements s'adressent à ma directrice de thèse Martine Tabeaud pour la disponibilité, le soutien, l'encadrement dont elle m'a gratifié. Qu'elle trouve en ces quelques mots, le témoignage de ma considération pour ses qualités tant humaines qu'intellectuelles.

A mes grands parents, pour leur soutien, leur présence, leur écoute. Ce travail a été possible grâce à eux : je n'oublierai jamais ces trois années passées ensemble.

A Estelle pour me « supporter ». La recherche nécessite parfois l'isolement, souvent la remise en cause : elle a compris ma manière de fonctionner et l'aboutissement de ce travail lui incombe énormément.

A ma mère, mon père et Jean-Paul pour leur aide et leur écoute. Voyez en ce travail la preuve que la volonté est à la base de toute entreprise.

A ma sœur, Andrew et mon « quasi-frère » Brice. Leur présence durant les moments les plus difficiles m'a permis de ne jamais craquer.

A Antoine Flahault et Fabian Alvarez pour leurs regards sur mes travaux depuis mon master recherche ainsi qu'à Anne Cori et Renaud Le Goix pour leurs conseils en statistiques.

A l'ensemble des membres du jury : Jeanne-Marie Amat-Roze, Anne Strauss, Fabian Alvarez, Jean Pierre Besancenot, Stanislas Wicherek . Vous avez accepté de participer à mon jury, je tiens à vous témoigner ma gratitude et ma reconnaissance.

A mon groupe d'amis pour les nombreux moments de décompression qu'ils m'ont faits vivre : François, Clément, Vincent, Arnaud, Loris, Guillaume, Antoine B et J, Marie-Agnès, Marie, Charles, Pierre et les autres.

Enfin aux douze employeurs (peut-être plus) qui m'ont offerts du travail depuis l'obtention de mon baccalauréat : je pense ici particulièrement à la famille Ballay. Il aurait été financièrement difficile de poursuivre mes études sans leur confiance.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

1^{ERE} PARTIE

2^{EME} PARTIE

3^{EME} PARTIE

CONCLUSION GENERALE

TABLE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

Liste des sigles et abréviations

ACP : Analyse en composantes principales

ANOVA : Analysis of variance (analyse de la variance)

ANCOVA : Analysis of covariance (analyse de covariance)

CAH : Classification ascendante hiérarchique

GROG : Groupes régionaux d'observation de la grippe

ILI : Influenza-like-illness (syndrome grippal)

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

INVS : Institut de veille sanitaire

IRA : Infection respiratoire aigüe

OMS : Organisation mondiale de la santé

PNSE : Plan national santé-environnement

TM : Topographie médicale

INTRODUCTION GENERALE

S'il semble dans l'air du temps de réaliser une thèse sur la grippe ce travail présente, au regard de l'actualité, une double originalité : il aborde une maladie du point de vue géographique et il a débuté il y a trois ans. Il est important de préciser ce point si précocement dans cette thèse afin de dissiper tout malentendu : ce travail aborde les grippes saisonnières en France métropolitaine. Bien qu'une partie de l'analyse réalisée puisse être transposée à la souche A/H1N1 en France, ce nouveau virus n'est pas l'objet de cette recherche. Ainsi donc, cette thèse vise à réaliser une géographie de la grippe en France. Une géographie de la grippe pourrait, de prime abord, aboutir à une simple spatialisation des nombres de cas ou des taux d'incidence et ne constituerait *in fine* qu'un atlas d'une maladie sur un laps de temps pré-déterminé. Aucuns facteurs explicatifs ne seraient abordés, aucune grille de lecture apposée, aucun angle d'attaque pertinent déterminé. Une telle entreprise ne stagnerait qu'à un stade cartographique superficiel sans volonté descriptive et encore moins explicative. L'idée d'aborder des épidémies saisonnières par le prisme géographique vient d'une double explication : un intérêt personnel et un contexte scientifique.

De formation géographe-climatologue, je nourrissais depuis la maîtrise un réel intérêt pour les implications du milieu « naturel » sur l'être humain. L'envie de réaliser une étude de climatologie appliquée dans le cadre d'un master recherche et, pourquoi pas plus tard, au sein d'une thèse m'a conduit à réaliser une évaluation des pans de recherche où, à mon sens, la géographie et les géographes étaient sous-représentés. De séminaires en colloques, je rencontrais des acteurs aussi divers que des forestiers, des historiens ou des épidémiologistes sans autre motivation que la volonté de travailler en interdisciplinarité. Cette démarche m'a conduit au printemps 2006 au ministère de la recherche afin d'écouter les communications scientifiques des premiers résultats du Plan National Santé Environnement (PNSE). Le PNSE affichait comme objectifs prioritaires : garantir un air et une eau de bonne qualité, prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers, mieux informer le public et les populations sensibles. Le Plan National Santé Environnement énonce en préambule que « *parmi les multiples facteurs qui déterminent la santé humaine et le développement des pathologies, la qualité des milieux (air, eau, sols...) déterminée par les contaminants (biologiques, chimiques, physiques) et les nuisances (bruit, insalubrité...) qu'ils véhiculent, ainsi que les changements environnementaux (variation climatique, biodiversité...) jouent un*

rôle fondamental. En effet, il est avéré que certaines pathologies sont aggravées, voire déterminées, par l'environnement ». Les thématiques « milieux », « nuisances » ou encore « changements environnementaux » reçoivent un net écho chez les géographes de formation environnementaliste rompus à ce vocabulaire et surtout aux problématiques sous-jacentes. C'est justement la quasi-absence de géographes au sein des débats qui fut flagrante alors que d'autres disciplines des sciences humaines (comme la sociologie) étaient bien représentées. Je tendais alors une oreille attentive aux communications ayant pour objet la mise en relation de paramètres climatiques avec des données sanitaires : celle d'A. Flahault liant grippe et oscillations australes retenait alors mon attention. Je pris alors la liberté d'entrer en contact avec lui dans le but de, pourquoi pas, travailler comme je le souhaitais en interdisciplinarité dans le cadre d'un master 2 recherche. La commande était alors claire : il s'agissait de mettre en relation des facteurs climato-météorologiques avec des données de grippe (taux d'incidence, nombre de cas). Plus précisément, nous avons choisis d'essayer d'isoler les paramètres climatiques suspectés jouer un rôle dans le déclenchement des épidémies saisonnières de grippe.

La communauté médicale a l'habitude, de longue date, de mettre en relation des paramètres du milieu physique avec des données de maladies. Cette volonté a permis de mettre en avant ces relations depuis Hippocrate jusqu'au foisonnement actuel de publications scientifiques liant la santé à l'environnement au sens physique du terme. Pourquoi la communauté médicale a, très tôt, privilégié le climat comme facteur explicatif de la maladie ? L'évocation hippocratique de facteurs météoropathologiques a conduit la communauté scientifique, durant deux millénaires, à considérer de manière importante les facteurs atmosphériques dans l'explication de diverses pathologies et a abouti notamment à l'explication des aires pathogènes et de la saisonnalité de la malaria, à mettre en relation les vents et l'augmentation des cas de méningites au sahel ou plus récemment à expliquer la surmortalité lors d'épisodes caniculaires. La plupart de ces intéressantes études se sont attachées à lier un paramètre météorologique (la température, le vent, l'humidité) avec les données de l'état sanitaire d'une population ou celles d'une maladie. Le climat en tant qu'hypothétique facteur explicatif possède, aux yeux de la communauté médicale, un réel avantage : sur les territoires surveillés, il est possible d'obtenir de longues séries de données continues. Les données climatiques sont, *modulo* certaines précautions, malléables. Les problèmes d'échelles temporelles relatives aux données épidémiologiques peuvent aisément être contournés par la simple utilisation des moyennes climatiques (journalières, hebdomadaires ou mensuelles). Ainsi, une étude entre une maladie et un paramètre climatique (ou un ensemble de paramètres) devient facilement

possible dès lors que l'on dispose de séries de données continues assez longues. Il est, en revanche, éminemment plus complexe d'intégrer des paramètres sociétaux plus nombreux aux échelles spatio-temporelle si diverses dans le cadre de modèles explicatifs. Pourquoi lier les épidémies de grippe saisonnières avec le climat ? La logique médicale est imparable. Les épidémies de grippe « traditionnelles » sont saisonnières : généralement d'octobre à mars. C'est cette saisonnalité qui conduit généralement les « médecins » à entrevoir un lien entre une pathologie saisonnière et les saisons climatiques : ici la saison froide aux latitudes tempérées. C'est ce postulat qui nous a amené dans un premier temps à considérer un lien entre facteurs climatiques et déclenchement épidémique et à tenter de le démontrer. Mais pourquoi travailler sur une maladie de prime abord aussi « banale » que la grippe en dépit de la proposition qui nous avait été faite ?

Ainsi notre choix s'est porté vers une maladie à forte composante saisonnière, très connotée du point de vue des relations climat-santé, et (surtout) couverte par un réseau de surveillance : la grippe. Le terme français « grippe » aurait une origine gothique « Grippen » signifiant « saisir brusquement ». Autrement dit : on n'attrape pas la grippe, c'est elle qui nous « agrippe ». Le réservoir que constitue le monde animal joue un rôle très important dans l'apparition de nouvelles variantes virales. Les oiseaux sont désormais suspectés d'être l'hôte original des nouvelles souches de virus de la grippe, de plus, il est désormais admis que des virus aviaires peuvent se transmettre directement à l'homme et provoquer des cas humains de grippe même si les transmissions via le porc restent les plus fréquentes. Il existe trois grands types de virus : les influenza virus de types A, B et C. Les gripes provoquées par les virus A et B se ressemblent fortement et il est impossible d'opérer une distinction sur le plan clinique. Les symptômes provoqués par le virus C s'apparentent plus à ceux d'un simple rhume. La surface des virus est tapissée de récepteurs protéiniques en forme de spicules. Les virus A et B en comportent deux types : les hémagglutinines (H) et les neuraminidases (N). La variabilité des types de virus s'explique par deux mécanismes distincts ayant des signatures assez dissemblables : les glissements antigéniques (drift) et les cassures antigéniques (shift). Très succinctement, dans le cas des glissements antigéniques, les gènes des protéines de surface vont subir des modifications mineures du virus. Globalement, l'immunité conférée par l'exposition au précédent virus permet une protection relative face à la nouvelle variété émergente. Ce n'est qu'à partir d'un certain nombre de modifications qu'une différence significative s'installe, expliquant les changements réguliers des souches vaccinales. Le phénomène de cassure antigénique est, quant à lui, potentiellement plus grave. En effet, il serait à l'origine des pandémies. Il résulte finalement d'un réassortiment antigénique

aboutissant à un virus nettement différent de celui circulant précédemment (Fig. n° 1 page 10). L'immunité conférée par l'exposition au précédent virus ne protège absolument pas tandis que le vaccin, plus ou moins préparé en fonction des souches « traditionnelles » sera inefficace. La grippe se transmet d'un sujet infecté à un sujet sain par le biais d'aérosols correspondant aux gouttelettes d'eau que notre corps expulse pendant la respiration, la toux, l'écoulement nasal. Pour être infecté, il faut être soumis à une quantité de virus suffisante et offrir une certaine forme de vulnérabilité. Une fois infecté, la période d'incubation dure de 24 h à 48 h selon les sujets et la souche virale. C'est après ce temps de latence que le sujet va manifester les premiers symptômes. Notons qu'une personne infectée est ensuite contagieuse pendant environ 6 jours, dont les 1-2 premiers jours sans symptômes, d'où sa propagation assez rapide. Les symptômes ne font que traduire la réaction immunitaire de notre organisme : maux de tête, frissons, asthénie, douleurs articulaires et musculaires et fièvres intenses sont le lot des personnes infectées. La grippe se manifeste au sein des territoires sous deux formes : des épidémies saisonnières et des épidémies mondiales (ou pandémies) relativement indépendantes des saisons. Ce sont les épidémies saisonnières qui nous intéresseront ici en restant volontairement distants de cette agitation relative à l'actuelle pandémie de grippe A/H1N1.

Parties intégrantes du paysage hivernal français, les épidémies de grippe font oublier, sous couvert de leur apparente banalité, la réalité des faits : de 500 000 à 5 000 000 de personnes touchées chaque année en fonction de l'intensité de l'épidémie, et un coût pour la sécurité sociale de 150 à 450 millions d'euros (Sentinelles ; 2006). Le caractère saisonnier de la grippe est désormais admis mais l'affirmation de lieux communs tels que « *le froid tue le virus* » va à l'encontre de l'idée selon laquelle l'hiver et donc le froid « *apporte le virus* ». Le mot « influenza » a été utilisé pour la première fois en Angleterre au XVIII^e siècle lors de l'épidémie de 1743, pour qualifier la grippe. Il semble provenir de l'expression italienne « influenza di freddo » (influence du froid). Le présupposé climatique est de fait présent dans l'étymologie même du virus. Malgré tout, d'un sujet en marge, l'actualité a ramené ce thème d'étude sur le devant de la scène scientifique. Si l'épidémiologie a l'expertise, les outils et la reconnaissance de la communauté médicale et des acteurs de Santé Publique en général, la géographie peut très bien faire des épidémies un objet géographique à part entière et apporter son expertise des territoires et ses méthodes d'analyse spatiale.

L'épidémiologie spatiale tente de replacer dans « l'environnement » les facteurs supposés déterminer ou favoriser la survenue des maladies eux-mêmes isolés par des

méthodes d'épidémiologie analytique. L'apport des géographes, aux yeux de la plupart des médecins, était réduit à un unique savoir « écologique » : tout ce qui avait trait au mode de vie, à l'habitat, au processus d'urbanisation n'était pas du ressort des géographes (Ménard, 2002). De fait, en ne considérant la géographie que de cette manière, il était difficile d'entrevoir un quelconque apport de cette discipline à l'épidémiologie spatiale ou analytique. Malgré tout, la géographie n'est pas une discipline concurrente mais bel et bien complémentaire. A titre d'exemple, si l'épidémiologie analytique traite des facteurs augmentant ou réduisant la survenue de maladies au sein de groupes à risques qui seront mis en évidence ; la géographie se penchera sur l'hétérogénéité spatiale de ces groupes à risque et sera à même d'intégrer nombre de variables environnementales (physiques ou humaines) explicatives. En outre, les outils sont forts dissemblables. L'épidémiologie fait la part belle aux méthodes statistiques et à la modélisation tandis que la géographie utilisera notamment les méthodes d'analyse spatiale pour prendre en compte un ensemble complexe de données physiques et humaines pour analyser les distributions de phénomènes. Les démarches d'analyse spatiale sont soit exploratoires (questionnement sur le positionnement et le sens des données géographiques), soit constitutive (acceptation des données dans leur positionnement spatial) (Hangouet, 1999). Pourquoi alors ne pas étudier la grippe par le biais de ces méthodes ? La grippe se déplace (on parle de vagues épidémiques), touche des territoires avant d'autres, certains plus que d'autres. Elle intervient en saison froide mais à des dates très variables. Ainsi, elle présente une variabilité aussi bien temporelle que spatiale qui fait d'elle un objet géographique à part entière. Les épidémies de grippe sont donc susceptibles d'être analysées à l'aide des outils géographiques mais cela dépend notamment de la manière dont celles-ci seront considérées au sein même de notre analyse. Devons-nous nous atteler à réaliser une géographie de cette maladie au risque d'être enfermé dans un carcan analytique trop écologique ou est-il possible d'ouvrir le sujet vers des variables plus humaines en considérant les épidémies de grippe comme un risque ? ; un risque grippal en France métropolitaine.

L'apport de la géographie dans la thématique du risque est très fort et parfaitement complémentaire à celui des épidémiologistes. La vision du risque en épidémiologie est avant tout probabiliste : il correspond à une donnée quantitative renvoyant à un mode de traitement des événements aléatoires. Il correspond à une probabilité de dommages ou d'occurrence d'aléa : c'est la mesure de l'incertitude qui prévaut dans le secteur assurantiel. Cette logique peut être très efficace lorsqu'elle s'intéresse essentiellement à l'aléa : elle rencontre ses limites face à l'étude de la (des) vulnérabilité(s). Pour un « risque épidémique », si les calculs

de probabilité d'occurrence avec déterminations prospectives de niveaux probables de taux d'incidence entrent pleinement dans une logique opératoire, une vision géographique basée sur l'étude du rapport des populations face à l'espace à risque est véritablement complémentaire et aide à une meilleure compréhension du risque. La géographie étudie en effet les différents acteurs et leurs modes de représentation du risque non pas en tant que tels mais en ce que ces représentations influent sur la territorialisation du risque et l'organisation spatiale (Veyret 2003). Dans le cadre des sciences humaines, le risque est avant tout affaire de perception : le risque est un construit social qui évolue entre les individus (ou le groupes sociaux) dans le temps. Le risque grippal est un objet spatial intéressant une population hétérogène : c'est un objet territorialisé. La définition du risque grippal dans le cadre de ce travail pourra donc être comprise comme « conjonction d'une menace potentielle (symbolisée par l'arrivée ou la stimulation des virus en saison froide) et d'enjeux plus ou moins vulnérables. C'est là précisément, sur le travail des vulnérabilités, qui se situe l'apport principal de la discipline géographique. Si l'épidémiologie, dans la recherche causale de la distribution et l'occurrence des maladies, a généralement l'ambition de chercher des facteurs écologiques pour ensuite, par le biais de méthodes statistiques pertinentes, déterminer des relations : la géographie intègre plus volontiers une dimension sociale. C'est précisément, par la vision du risque en sciences humaines, que la géographie peut tenter de démêler les tenants et les aboutissants de phénomènes aussi complexes que les épidémies. Un long travail doit, malgré tout, être réalisé afin de considérer ce qui est du ressort de l'aléa ou de la vulnérabilité. En outre, ces deux entités ne sont pas nécessairement uniques mais généralement multi-factorielles. Certaines variabilités ne pourront, du fait de notre formation, pas être intégrées mais mériteraient vraisemblablement d'être envisagées dans des travaux ultérieurs : la virulence des souches grippales circulantes notamment. L'étude du risque grippal nous conduit donc à isoler d'une part l'aléa : il s'agit du virus. Nous connaissons sa fenêtre temporelle d'apparition (la saison froide) et essayerons de démontrer comment certains paramètres du milieu physique influencent cet aléa. Puis, un long travail portera sur les vulnérabilités : c'est là que réside principalement la complexité de cette étude. En effet, la vulnérabilité à la grippe peut être due aussi bien à des facteurs « physiques » qu'à des facteurs « humains ». On comprend aisément que certaines conditions météorologiques du climat hivernal peuvent engendrer une plus grande vulnérabilité des organismes augmentant leur susceptibilité : ces conditions ne sont, de plus, pas homogènes sur le territoire français. En parallèle, si l'on considère le risque de contracter une grippe, nous pouvons penser que celui-ci est très hétérogène sur le territoire français. En effet, les caractéristiques sociales pouvant

influencer l'exposition aux virus grippaux ne sont pas lissées sur le territoire mais extrêmement variables. La question de l'échelle se pose alors avec acuité. Il est nécessaire d'aborder une échelle garantissant l'obtention des données dans l'ensemble des champs abordés dans le cadre de cette thèse : données épidémiologiques, données climatiques et données socio-démographiques. Dans la continuité du Master 2, les données épidémiologiques proviennent du réseau de surveillance *Sentinelles*. Si des données pouvaient être fournies à l'échelle départementale, la robustesse de celles-ci (basées sur des calculs de redressement) laissait à désirer : on m'encouragea à me focaliser sur l'échelon régional bien plus fiable. Obtenir par la suite des données climatiques et socio-démographiques à cette échelle ne fut pas un problème : la météorologie nationale (Météo-France) par le biais de ses fascicules hebdomadaires mais également en contactant ses agences régionales nous a fourni les données climatiques. Quant aux données socio-démographiques, elles furent collectées principalement auprès de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) et plus parcimonieusement, pour certaines variables, auprès de ministères et de directions générales (Ministères du Tourisme, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, de l'Agriculture, des Transports ; Direction Générale de l'Aviation Civile etc.).

Cette thèse sera structurée en trois grandes parties. Nous replacerons premièrement ce travail dans la longue tradition scientifique des études environnement-santé en réalisant un historique de l'Antiquité à nos jours. Nous définirons plus précisément le risque grippal puis discuterons des données épidémiologiques. Nous aborderons le volet climatique dans la deuxième partie. Pour ce faire, nous réaliserons une étude exhaustive de nombreux paramètres climato-météorologiques observés en période pré-épidémique afin de mettre en avant des types de temps préférentiels. Nous nous pencherons sur le cas d'années précises et confronterons nos résultats avec des observations réalisées sur l'autre rive de la mer Méditerranée. La troisième partie s'intéressera principalement aux vulnérabilités « sociales » : nous verrons qu'elles peuvent aussi bien être structurelles que relatives aux individus qui peuplent les territoires. L'aboutissement d'une telle entreprise sera la constitution d'un modèle explicatif de différents niveaux de taux d'incidence observés dans les régions. Nous présenterons enfin une carte du risque grippal mêlant aussi bien la stimulation du milieu physique sur l'aléa que la spatialisation des vulnérabilités.

1^{ère} PARTIE

Introduction

Santé et maladies sont étroitement liées aux modes de vie, aux conditions économiques, culturelles, sociales. L'être humain est autant dépendant du milieu qui le supporte que de son état social. L'homme habite un espace de qualité variable qui sera source d'inquiétudes pour la santé humaine. Il est amusant de noter que l'on considère comme un champ disciplinaire récent la « santé environnementale » suite à une prise de conscience de l'impact de l'environnement sur la santé, notamment lorsque celui-ci est pollué. Peut-être réalise-t-on un grave amalgame en assimilant les modifications environnementales naturelles avec les modifications d'origine purement anthropiques ? Les médecins n'ont, en effet, pas attendu la fin du XX^{ème} siècle pour mentionner l'environnement comme étant un déterminant majeur de la santé humaine.

Présentées comme des entités antinomiques, maladie et santé renvoient à des sens opposés. L'Organisation Mondiale de la Santé¹ énonce dans le préambule de sa constitution que la santé est « *un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité* » tandis que la maladie se présente comme une altération de cette même santé. Il existe, bien entendu, d'autres conceptions de la santé. Il est désormais admis que la très large définition de l'OMS est d'une très faible utilité opérationnelle étant entendu qu'elle se réfère à la « capacité de fonctionner » combinée à « l'absence de maladie cliniquement définie » (Evans et al. 1996). La maladie, connotée très négativement, est saisie par des indicateurs démographiques comme les taux de mortalité ou de morbidité alors que la mesure de la santé est hasardeuse et ambiguë tant son champ est vaste et multiple (Thouez 2005). « Etre en bonne santé » implique que les besoins fondamentaux de la personne soient satisfaits, qu'ils soient affectifs, sanitaires, nutritionnels, sociaux ou culturels et ce, à tous les stades de la vie : la santé s'avère alors être un objectif. Finalement la notion de santé est relative et manichéenne. On dit d'une personne qu'elle est en "bonne santé" ou en "mauvaise santé".

¹ OMS 1946

Les maladies sont des phénomènes évolutifs dans le temps et dans l'espace. Tandis que certaines semblent disparaître, d'autres en revanche font leur apparition. Les maladies infectieuses, jusqu'au début du XX^e siècle, constituaient la principale cause de morbidité et de mortalité. Maladies cardio-vasculaires et tumeurs sont devenues, avec le développement de la médecine pastorienne, les premières causes de décès et peuvent être, entre autre, associées au développement de l'espérance de vie (Fig. n°1). Malgré tout, cette révolution concerne plus que les autres, les pays dits du Nord dont les bénéfices de la pénicilline sont à mettre en relation avec le niveau de vie. Ainsi, la distribution des maladies varie dans le temps comme dans l'espace.

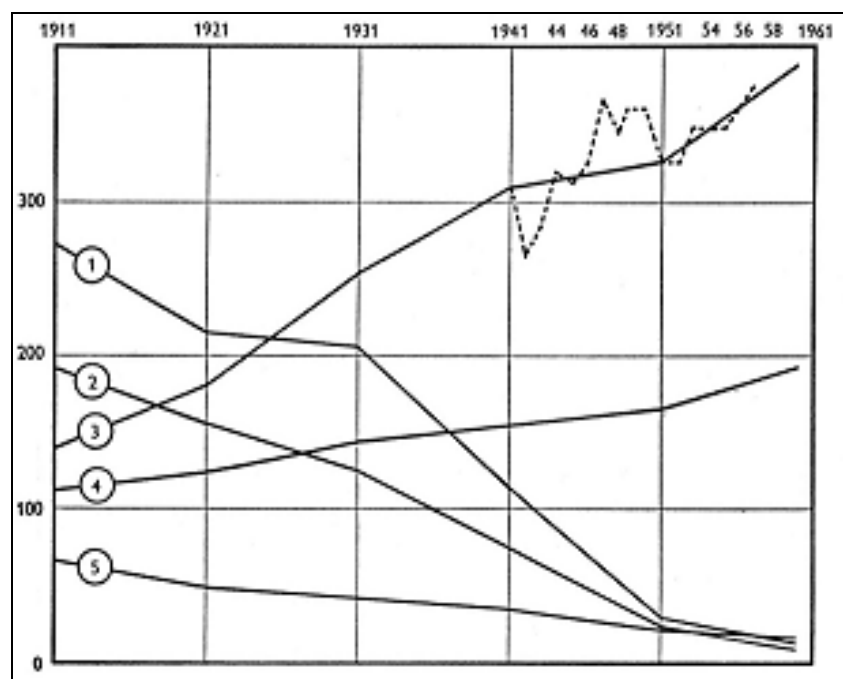


Fig. n°1 : Changements dans la distribution des maladies en Suède des années 1910 à 1960 ²

(1 – maladies infectieuses ; 2 – tuberculose seule ; 3 – maladies cardio-vasculaires ;
4 – tumeurs ; 5 – maladies infantiles)

La pathologie est une sous-discipline de la médecine destinée aux études des causes et des symptômes des maladies que ce soit pour les êtres humains ou les animaux. Le mot pathologie provient du grec *pathos* signifiant à la fois passion et souffrance. L'objet de la pathologie est la recherche des origines des maladies, leur occurrence dans le passé et leur distribution géographique actuelle. La pathologie étudiée par le prisme géographique (i.e.

² in Henschen 1966

pathologie géographique) n'est pas une spécialité en soi mais une méthode d'approche afin de résoudre les nombreux problèmes inhérents à la recherche des causes des maladies (Henschen 1966). La géographie aborde, depuis des temps immémoriaux, les maladies et leurs éléments de causalité. Les sciences biomédicales sont longtemps restées sceptiques quant à l'effectivité de son apport (Ménard 2002), réduisant la valeur ajoutée du géographe au simple statut de « faiseur de carte » oubliant que des concepts fondamentaux de l'épidémiologie moderne furent empruntés à d'éminents géographes. Les problèmes de légitimité de la science géographique au sein du clan biomédical vinrent notamment du fait qu'on a longtemps réduit la géographie à sa simple composante physique. Des éléments d'écologie, empruntant un imposant vocabulaire à la géographie physique, justifiaient dès l'antiquité des observations aboutissant à des relations causales entre des facteurs climatiques ou pédologiques et des maladies. La pathologie historique, dont l'objet se fonde sur l'étude de l'apparition des maladies aux temps anciens comme modernes, a de nombreux points communs avec l'histoire propre de la médecine. Toutefois les deux disciplines ne doivent, en aucune manière, être amalgamées. Certains vont même jusqu'à distinguer une paléopathologie étudiant l'histoire des maladies à l'échelle des temps géologiques. Malgré tout, il conviendra dans ce chapitre de mentionner les points de convergence historique entre pathologie et médecine.

Les prémices de la médecine sont souvent associés à des observations pathogéniques³ qui sous-tendent l'influence de facteurs tant physiques qu'humains. Comme le mentionnait Maximilien Sorre, « *la première tâche de la géographie humaine consiste dans l'étude de l'homme considéré comme un organisme vivant soumis à des conditions déterminées d'existence et réagissant aux excitations reçues du milieu naturel* » (Sorre 1933). C'est ainsi que pour lui, toute géographie humaine est aussi une écologie de l'homme. C'est la raison pour laquelle ce chapitre débutera par l'évocation de modèles de pensée et de raisonnement développés tant par des géographes que par des médecins recherchant les causes des maladies dans les caractères des milieux géographiques. Ce type de démarche, communément associé à la géographie médicale, trouve ses pères dans l'antiquité parfois même avant la collection hippocratique. Papyrus égyptiens, écrits sacrés indiens ou même encore la Bible contiennent des mentions d'occurrence de maladies associées à des facteurs explicatifs (parfois clairement humains, souvent divins). Malgré tout, il ne sera pas fait l'économie d'une évocation approfondie de l'apport d'Hippocrate de Cos dans le champ de la géographie médicale. De la même manière, si nous tenterons d'esquisser une histoire des maladies, nous n'occulterons pas leur rôle historique.

³ La « pathogénèse » est l'étude des mécanismes causaux des maladies.

Enfin, l'objet de ce chapitre sera de présenter l'évolution de la géographie médicale au cours des temps historiques jusqu'à son aboutissement en géographie de la santé : un tableau de l'évolution épistémologique. Nous tenterons également d'avancer une distinction entre géographie médicale et épidémiologie en analysant la finalité de chacune des disciplines ainsi qu'en soulignant la complémentarité de leurs démarches. L'approche probabiliste dans l'analyse des risques épidémiologiques basée, de prime abord, sur l'étude d'une maladie en un lieu et à un pas de temps donnés devrait être complétée par l'approche structurelle géographique qui prend en compte l'hétérogénéité spatiale. Le contexte géographique permettant, peut-être, à terme de préciser voire, d'expliquer les mesures épidémiologiques.

I - De l'antiquité à nos jours : quelle place pour la géographie dans les études de santé ?

1 - Aux origines de la géographie médicale

Les premiers acquis de la géographie médicale seraient issus de l'étude des interrelations maladies - environnement remontant à l'Antiquité. Ce mode de raisonnement qualifié d'écologique recherche la cause des maladies dans les caractères des milieux géographiques. Un consensus est désormais établi afin d'admettre que « Airs, eaux, lieux » serait le premier document de géographie médicale (Grmek 1963, Barrett 2000). Ce traité prend place dans la collection hippocratique ou *corpus*. Le *corpus*, aux dires des spécialistes, n'est pas l'œuvre d'un seul homme mais l'homogénéité tant dans la construction de l'ouvrage que dans la pensée pousse à parler de pensée hippocratique et confère, de fait, la paternité de cette œuvre à Hippocrate de Cos.

1-1 Hippocrate : le fondateur de « l'art médical »

Hippocrate « le Grand » (460-370 av. J.C.) exerce dans un premier temps à Cos, puis devient médecin itinérant en Grèce septentrionale et enfin en Thessalie. Force est de reconnaître que la médecine ne naît pas réellement avec Hippocrate (d'antérieures traditions médicales existaient en Egypte ou en Inde) mais celui-ci apparaît comme l'artisan de son développement occidental. Bien que faisant partie d'une famille de prêtres – médecins (les Asclépiades), il est connu comme le premier à distinguer clairement l'exercice de son art de tout contexte religieux. Il tenta ainsi d'élaborer une médecine rationnelle en essayant d'analyser les mécanismes causaux des maladies et les remèdes appropriés à celles-ci. Hippocrate semble être le premier auteur à s'intéresser à d'éventuels liens entre le climat et la santé humaine (De Félice 2005) et recommande immédiatement, à quiconque souhaitant approfondir les questions médicales, de « *considérer d'abord les saisons de l'année et l'influence que chacune d'elles exerce puis d'examiner quels sont les vents chauds et froids, et surtout ceux qui sont communs à tous les pays, ensuite ceux qui sont propre à chaque localité.* »

1-2 Les enseignements hippocratiques

Evoquer un réel déterminisme dans les démonstrations d'Hippocrate est toujours hasardeux tant celui-ci s'opère dans une grande confusion (nombreux facteurs causaux, variétés des individus, difficulté d'appréhension des interrelations « physiques – humains » etc. ...). Staszak (1993)⁴ parle alors de « déterminisme relâché ». Malgré tout, en prenant le parti de la définition la plus stricte du déterminisme, il n'est pas erroné d'affirmer que la pensée hippocratique appuie l'essentiel de ses avancées sur une posture déterministe : tel milieu a telle influence sur la santé. Cette méthode basée, avant tout, sur l'observation renvoie à la notion platonicienne de « connaissance causale » : la connaissance du pourquoi (Thouez 2005). Staszak justifie le déterminisme hippocratique par le fait que « *l'on se trouve face à une vraie physique du corps et du milieu* ».

Les médecins hippocratiques consignaient leurs observations sous formes de fiches détaillées sur les malades auscultés, parfois complétées par des notices sur les maladies. La principale faiblesse des médecins hippocratiques résidait dans l'absence de toute connaissance anatomique : ainsi la « mécanique interne » du corps humain leur était totalement inconnue. De fait, afin d'expliquer l'apparition des maladies ils tentèrent d'avancer les interprétations les plus plausibles en étudiant les analogies entre phénomènes externes et phénomènes internes du corps. Hippocrate va ainsi traiter longuement du mouvement des « humeurs ». Les humeurs en médecine désignent les fluides contenus dans l'organisme⁵. Il va ainsi considérer que ces humeurs réagissent à des stimuli externes (*i.e.* les changements du milieu) en argumentant son propos à l'aide d'exemples précis et concrets basés sur des comparaisons avec d'autres fluides externes (lait, eau etc.). Un certain nombre de processus a été envisagé sur les quatre humeurs que la médecine hippocratique a identifiées : le sang, le phlegme, la bile noire et la bile jaune.

1-2-1 L'action du chaud et du froid, du sec et de l'humide et des « changements extérieurs »

Il est fait, à de nombreuses reprises, mention d'une action directe de la froideur ou de la chaleur. Le principe d'analogie évoqué précédemment veut que l'on retrouve dans le corps les

⁴ Staszak 1993 *Météores et climats dans la pensée grecque - les Présocratiques, Hippocrate, Aristote -, essai d'ethno géographie historique : la tête dans les nuages et les pieds sur terre*

⁵ Jouanna 1992 propose un exemple tiré du traité *De la nature de l'homme*. « *Toutes ces humeurs existent perpétuellement dans le corps de l'homme mais, avec le cycle des saisons, elles passent par des périodes d'augmentation et de diminution, chacune selon son propre cycle.* »

mêmes effets qu'à l'extérieur du corps. La chaleur induit une dissection tandis que le froid entraîne une contraction : « *l'exposition aux vents froids produit des ruptures intérieures, car le froid des eaux dispose les vaisseaux à se rompre*⁶ ».

Dans le même temps que le caractère thermique du milieu, le caractère hygrométrique, dans sa distinction « sec et humide », intervient de la même manière sur le milieu interne de l'être humain. Le sec va épaissir quand l'humide va diluer : « *quand les eaux sont abondantes, les habitants ont la tête humide, ils sont phlegmatiques*⁷ » ; « *si les saisons sont trop sèches, les bilieux secs de nature, voient la partie la plus humide et la plus aqueuse de la bile se dissiper*⁸ ».

Enfin un troisième processus envisage l'importance des changements extérieurs. Aux changements du milieu correspondent des changements du/dans le corps. Le changement intervient donc comme un stimulus : « *ce sont les changements du tout ou tout qui, éveillant l'intelligence, la tire de l'immobilité*⁹ ».

Ainsi, les processus déterministes sur la santé se résument à trois dichotomies majeures : le chaud et le froid, le sec et l'humide, le stable et le changeant. L'humidité fluidifie les circulations internes quand la sécheresse écrête le « trop plein » humoral, la chaleur dessèche le corps et le froid le fragilise, les changements externes rompent la monotonie et « *éveillent le corps comme l'esprit* ». Aux quatre humeurs Hippocrate fait correspondre les quatre couples de principe, les quatre saisons et les quatre éléments (Tab. n°1).

Tab. n°1 : Les quatre humeurs de la médecine coaque (d'après Staszac)

| Humeur | Sang | Bile jaune | Bile noire | Phlegme |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Saison | printemps | été | automne | hiver |
| Principe | chaud et humide | chaud et sec | froid et sec | froid et humide |
| Élément | air | feu | terre | eau |

Ces systèmes « écologiques » sous-tendent la connexion permanente de l'homme à son milieu. Chacun de ces systèmes finit par déterminer un tempérament.

⁶ *Airs, eaux, lieux* chapitre 4

⁷ *Airs, eaux, lieux* chapitre 1

⁸ *Airs, eaux, lieux* chapitre 10

⁹ *Airs, eaux, lieux* chapitre 16

1-2-2 La santé : un produit entre « tempérament » et évènements climatiques et saisonniers

Le tempérament désigne l'ensemble des dispositions organiques innées de l'individu. Le tempérament se réfère à la constitution physique du corps humain. Tous les corps subissent l'influence du milieu extérieur mais tous les individus ne réagissent pas de la même manière : ils ne sont pas de même constitution, ils n'ont pas le même tempérament. Hippocrate a défini les quatre tempéraments fondamentaux : le nerveux, le bilieux, le sanguin et le lymphatique¹⁰. En effet, suivant son propre organisme, un être humain a des réactions psychiques et physiologiques différentes de celles d'un autre. Pour Jouanna (1999), la santé selon Hippocrate est définie comme « l'adéquation entre le tempérament et l'ensemble des évènements climatiques ».

Par delà la diversité des maladies, la médecine hippocratique a tenté de déceler des traits communs pour aider à formuler des pronostics.

1-3 De l'influence des saisons, des vents et de l'exposition

Hippocrate affirma que la considération fondamentale sur laquelle doit se baser le médecin pour un diagnostic doit porter sur les saisons. Chaque saison a une influence différente sur le milieu intérieur. Le rythme saisonnier est fondamental en ce sens qu'il commande (à la latitude de la Grèce) les variations thermiques, hygrométriques et l'orientation principale des vents tout au long de l'année. Un médecin qui arrive dans une ville inconnue doit en observer la situation dans ses rapports avec les vents et avec le lever du soleil car « *les mêmes effets ne sont pas produits par une exposition au nord ou à midi, ou au levant, ou au couchant* ».

Ainsi, Hippocrate va réaliser une énumération exhaustive des maux, des traits, des « tempéraments » pouvant être observés dans les villes ouvertes au levant ou au couchant, aux vents du nord comme aux vents du midi. Une ville exposée aux « vents chauds » verra ses habitants affectés par des maux de ventre, des convulsions, des dysenteries, des fièvres ardentes voire des paralysies. Les villes ouvertes aux vents froids connaîtront de nombreux cas de pleurésies. Les hommes y sont « robustes et secs », le cerveau y est sain. Les habitants de villes ouvertes vers l'Est sont les plus robustes, ils ont le teint meilleur et une voix claire. Leur caractère est vif et leur esprit pénétrant. En outre, les femmes y sont extrêmement

¹⁰ Galien (vers 130/200 après J.C.) relia chaque élément à un tempérament. Pour le tempérament nerveux, il associa l'élément terre, pour le bilieux, l'élément feu, pour le sanguin l'air et enfin pour le tempérament lymphatique l'élément eau.

fécondes. Les villes orientées au couchant sont, pour Hippocrate, malsaines. Ces considérations peuvent, *a posteriori*, paraître étranges en envisageant nos agglomérations de plaines ouvertes à tous les vents et pouvant suivre le trajet de l'astre du jour de son lever à son coucher. Le compartimentage du relief du nord-est du bassin méditerranéen explique pour une large part l'attention portée à l'exposition tant au soleil qu'au vent. Nombreuses sont les villes enserrées dans des montagnes qui permettent au soleil de ne briller qu'une partie de la journée, aux vents de ne venir que d'une direction. On comprend mieux, dès lors, cette volonté typologique de classer les maux comme on classe les villes.

1-4 L'apport d'Hippocrate

Quoi que l'on en pense, sans rentrer dans de subtils débats épistémologiques, pour Hippocrate le milieu exerce un fort déterminisme sur l'homme. L'homme est un produit de son environnement géographique. Les facteurs du milieu jouent sur les facteurs personnels. En étudiant une contrée donnée se dégagent, en général, des caractéristiques communes de populations en ce sens que celles-ci sont soumises aux mêmes influences.

Dans une seconde partie de son traité, Hippocrate fit intervenir d'autres facteurs relevant du culturel (usages et régime politique). L'influence de ces facteurs peut s'opposer ou alors accentuer les traits liés au milieu naturel. Jouanna (1999) note qu'il s'agit là de la première attestation de l'opposition nature – culture et de la première réflexion sur ses interactions.

Le corpus hippocratique est considéré comme le premier essai de pathologie géographique. Ce lien milieu – pathologie a été mis en valeur dans les écrits postérieurs de Galien dont les traductions permirent la diffusion de la pensée hippocratique. Pour Rauch (1995) « la représentation hippocratique [...] est l'expression d'une sagesse populaire et d'une conception de l'homme ». De nombreuses affirmations hippocratiques sont maintenues durant des siècles.

2 - Le Moyen-Age : le temps des compilations

Alors qu'une réelle ébauche de médecine scientifique sembla caractériser l'Antiquité avec des méthodes basées sur l'observation, les diagnostics ou les pronostics ; le Moyen-âge ne constitue pas un temps d'innovation. Pour Thouez (2005), le savoir médical précédemment acquis est compilé durant cette période sans réelles avancées significatives. Le *corpus* hippocratique reste bien présent mais est désormais supplanté (jusqu'au XI^e siècle) par les écrits de Galien qui combinent les théories d'Hippocrate associées à l'idée d'un « esprit vital » dans les parties de l'organisme humain.

2-1 Des pratiques médicales distinctes

Devant l'absence de connaissances nouvelles, la médecine s'engage dans deux voies distinctes : une médecine religieuse et une médecine raisonnée. La médecine religieuse est en réalité scindée en deux composantes : une médecine culturelle pratiquée par les membres du clergé et une médecine profane qui repose sur des praticiens bannis par la religion. La médecine dite « raisonnée » est, pour l'essentiel, pratiquée par des moines qui tentent de pérenniser les œuvres d'Hippocrate et de Galien.

2-1-1 La médecine raisonnée : garante d'une tradition hippocratique

Ces sont majoritairement les moines qui ont transmis les œuvres scientifiques d'Hippocrate et de Galien. Ils commencèrent par retranscrire les écrits anciens de leurs bibliothèques parfois avec quelques modifications. Parallèlement à leurs travaux de copistes, ils vont s'approprier ces écrits pour finir par les mettre en pratique. C'est grâce à ces moines qu'une certaine idée de la médecine dite scientifique a pu perdurer durant ces temps d'obscurantisme. Malgré les interdictions, ils sauvèrent le patrimoine antique de la médecine et pratiquèrent l'art médical au sein « d'hospitales ». Finalement dans la France du Moyen-Âge, la montée du christianisme freine considérablement la médecine scientifique. Selon les membres du clergé, le seul médecin était le Christ, lui seul pouvait guérir les malades.

2-1-2 La médecine culturelle pratiquée par le clergé

La médecine culturelle est une continuation du culte de dieux païens. Pratiquée par les membres du clergé dans l'enceinte religieuse de la basilique, cette médecine s'attaque à tous les maux par l'intervention divine des saints. Le saint apparaît en rêve et guérit miraculeusement le malade de son affliction soit physique ou mentale (Fig. n°2). Les principaux troubles mentaux sont expliqués par une possession démoniaque de l'individu, seul Dieu possède le pouvoir de chasser les démons : « *Ceux qui se fient à ces idées vulgaires ne recherchent pas, pour le soin de leur maladie, l'aide des médecins, mais celle des saints réputés avoir reçu de Dieu le pouvoir de chasser les démons* » (Jacques DESPARS 1380-1458).



Fig. n°2 : Fou et Dieu

(Enluminure du psaume Dixit insipiens)

Les malades veillant dans l'Eglise ont de saintes apparitions ayant le pouvoir de guérir. Les cierges disposés dans l'enceinte créent une ambiance mystérieuse très propice aux visions. Les principaux remèdes sont disposés sur le tombeau du Saint et dans son proche entourage :

- la poussière du tombeau guérit toutes les maladies (particulièrement les dysenteries fréquentes à l'époque). La poussière est mélangée à un liquide (eau, vin) puis bue.
- le voile du tombeau soulage les douleurs des lèvres si on le touche avec la bouche. On lui prête également le pouvoir de stopper les hémorragies.
- l'huile et la mèche brûlée des cierges disposés autour du tombeau possèdent, de même, un pouvoir de guérison des maladies du corps.

- l'eau et le vin, s'ils ont été en contact avec l'autel, devienne des liquides sacrés guérissant corps et esprit.

2-1-3 Rebouteux et ermites, praticiens de la médecine profane

Cette médecine, jouissant à l'époque d'une grande popularité, reposait sur des médecins profanes bannis par le clergé, des devins, des sorciers : les rebouteux et les ermites. Ils guérissaient les malades à l'aide de décoctions de plantes. En dépit de leur popularité, ces « guérisseurs » furent très critiqués. Comme il ne s'agissait pas de personnalités de haut rang social, les dignitaires du Haut Moyen-âge attaquèrent ces médecins qui ne guérissaient finalement pas grand chose. Après les invasions et les destructions concomitantes, le savoir médical ne repose plus que sur la transmission orale et les médecins profanes passent progressivement au rang de charlatans. Les médecins profanes sont peu à peu remplacés par des médecins religieux : sorciers et devins seront brûlés vifs par l'Eglise.

2-2 Les facteurs de maladie au Moyen-Age

Au Moyen-Age, la vie est rude. Les gens se déplacent essentiellement à pied, et ce, quelques soient les conditions météorologiques. Les maisons protègent relativement bien des intempéries, mais trop peu du froid et de l'humidité. Au V^e et VI^e siècle surtout, seul le « braséro » réchauffe l'atmosphère intérieure avec son cortège de fumées épaisses non évacuées qui provoquent des maladies des poumons et des yeux.

Les gens sont généralement propres mais la notion d'hygiène n'existe pas. Dans les villes, déchets et excréments sont évacués par une unique rigole au milieu de la rue. Les tas de fumier perdurent sous les fenêtres ou à proximité d'un puits dont l'eau, par infiltration, se retrouve contaminée. Les rivières sont autant des sources d'eau que des égouts. Ceci facilite grandement la propagation des maladies.

L'alimentation est source de nombreux problèmes sanitaires. Les nantis mangent surabondamment (surtout trop de viande : problèmes de goutte) tandis que la majorité de la population ne mange pas à sa faim. Les paysans souffrent de nombreuses carences : ils se nourrissent du fruit de leurs maigres récoltes et de quelques œufs (presque jamais de viande).

Il suffit d'une année mauvaise (guerre, intempéries, maladie du blé...) pour que la famine s'installe et que se développent les épidémies.

2-3 Le temps des grandes épidémies

Le Moyen-Age fut profondément marqué par des épidémies décimant une proportion gigantesque de la population. Bien qu'anecdotique, mentionnons ici ce que Hirsch considère être la première épidémie de grippe¹¹ reconnue et définie en tant que telle. Elle démarra en 1173 et se diffusa rapidement depuis l'Italie jusqu'à l'Angleterre en passant par l'Allemagne. Les maladies infectieuses, ces « *compagnes fatales et constantes de notre vie* » (Nicolle 1930) ont été, à cette époque, les ennemies les plus dangereuses de l'être humain.

Aux XIV^e et XV^e siècles, épidémies et pandémies frappent le monde occidental en même temps que se réactivent de nombreux conflits armés. La peste va bouleverser le paysage social européen et provoquer un effondrement démographique sans précédent à l'époque. La maladie se présente sous trois formes : la peste bubonique (la forme la plus fréquente : les puces qui perdent leurs hôtes habituels, les rats, qui meurent à grande échelle, recherchent d'autres sources de sang, et contaminent l'homme), la peste pulmonaire (deuxième stade de la peste bubonique, due à une contamination directe par les voies respiratoires) et la peste septicémique (observée lors des épidémies). Les épidémies de peste furent, en général, fort bien documentées. Les épidémies de Justinien (541-580) ou du Haut Moyen-Age souffrent, certes, de quelques vagues descriptions mais la peste de 1348, la peste « noire », fut à l'origine d'une littérature d'une exceptionnelle abondance.



Fig. n°3 : La danse de la mort (Schedel 1493)

¹¹ Des épidémies, probablement de grippe, avaient déjà été mentionnées par Hippocrate. En outre, une épidémie (de grippe ?) a été clairement identifiée par Saint Grégoire, évêque de Tours, en 591.

La représentation de la mort sous la forme d'un squelette (Fig. n°3 p.27) devint monnaie courante après la peste de 1348. Hormis cet univers fantasmagorique créé autour de la mort, des observations plus ou moins scientifiques sont à noter. Lorsque la peste arrive en Italie, les médecins de l'époque avancent une double explication : le rôle des étoiles associé à un châtement d'origine divine, le rôle d'un « air empoisonné » se déplaçant d'un lieu à l'autre. Afin de prémunir les habitants de toute contagion, les pestiférés sont maintenus à l'extérieur des villes : les points d'accès sont rigoureusement contrôlés. Dans le même temps, les voyageurs avec leurs marchandises font l'objet de quarantaines très strictes.

Les historiens notèrent bien plus tard que, lors de la peste noire, des secteurs géographiques précis auraient échappé à toute contamination épidémique. Ils soulignèrent, en outre, la coïncidence parfois troublante des itinéraires de contagions confondus avec les grandes voies commerciales. Le rôle des conditions climatiques sur les récoltes fut également avancé en ce sens que la famine influait fortement sur les épidémies.

Aussi longtemps que les communautés étaient de tailles modestes et isolées les unes des autres par les montagnes, les forêts, les cours d'eau et des moyens de transports lents et rudimentaires le risque de propagation épidémique était somme toute assez limité. La concentration massive de personnes au sein de cités de plus en plus grandes, dans des camps militaires, dans des marchés ponctuels mais massifs ou lors de pèlerinages a contribué considérablement à l'accentuation du risque épidémique. Ces rassemblements étaient généralement caractérisés par un manque réel de mesures hygiéniques. Durant la première croisade (1096-1099), 500 000 personnes s'engagèrent à partir en terre Sainte. Après le long siège d'Antioche, les historiens considèrent que 60 000 hommes pénétrèrent dans la forteresse. Quand Jérusalem fut finalement prise, on estime à 20 000 têtes l'armée qui marcha dans la ville Sainte. De la même manière, lors des croisades suivantes, les armées furent décimées par la faim et la maladie. A chaque fois, ceux qui avaient la force de rentrer en Occident ramenèrent avec eux la lèpre ou d'autres maladies infectieuses.

2-4 Les premières facultés de médecine et les premiers hospices

La fondation d'universités dans l'Occident chrétien stimula les échanges avec le monde musulman et créa les conditions d'un renouveau général du savoir. La première école de médecine ouvrit à Salerne (Italie) au X^e siècle. Elle hébergea des médecins juifs, des chrétiens de Syrie, qui ont faits le lien avec le monde musulman, où de réels progrès médicaux ont été

réalisés. On leur doit la traduction de l'arabe au latin ainsi que des textes « perdus » des auteurs de l'Antiquité. Tous les grands médecins du XII^e siècle ont étudié à Salerne dans la tradition Galénique. En France, dès le XI^e siècle, les textes hippocratiques sont au programme des premières grandes universités dont Montpellier, Reims, Lyon et Paris. Cet enseignement inaugurerait un retour à un « néo-hippocratisme » qui perdurerait jusqu'au XIX^e siècle (Jouanna 1999)

Un progrès essentiel de la médecine moyen-âgeuse est l'apparition d'établissements hospitaliers. Après avoir été accueillis chez les prêtres ou dans les enceintes religieuses, les nécessiteux et les malades sont peu à peu rassemblés dans des locaux prévus à cet effet. La richesse du clergé et la générosité des catholiques de l'époque ont permis la création des premiers hospices, les « Hôtels Dieu ». Destinés, dans un premier temps, à l'accueil des pèlerins ils ouvrirent rapidement leurs portes à tous ceux qui avaient besoin d'aide ou qui n'étaient pas « en bonne santé ». L'accueil donnait droit à un bain de pieds, un bol de soupe, un lit voire un peu d'argent aux plus nécessiteux. Du fait des nombreuses épidémies qui sévissaient, ces établissements prolifèrent, s'agrandirent et recentrèrent leurs activités sur les malades¹². Au XII^e siècle est bâti l'« Hôtel Dieu » de Lyon pour accueillir les malades. Les autres pensionnaires sont redirigés vers un autre établissement : la « charité ». L'hôpital est né. Même s'il présente encore de nombreux défauts : de grandes pièces mal chauffées au plafond volontairement trop haut pour éloigner les fumées des malades, des lits à plusieurs places et des malades atteints de maladies différentes mélangés ... ; un lieu spécifique pour « soigner » est ainsi créé.

¹² À l'origine le seul service médical offert était l'aide à l'accouchement par la sage-femme.

3 - Le tournant de la Renaissance

Le XVI^e siècle est celui de la Renaissance en Europe. Tranchant fondamentalement avec l'obscurantisme du Moyen-âge, cette période est celle d'un renouveau artistique, culturel, religieux. Elle s'accompagne d'une nette croissance tant démographique qu'économique. Les pratiques médicales évoluent nettement en même temps que le monde connu des occidentaux ne cesse de s'agrandir.

3-1 D'importants progrès en médecine qui réfutent Galien

Des avancées considérables sont réalisées en anatomie sous l'impulsion des travaux de Vésale (1514-1564). Si la médecine galénique est enseignée comme un dogme dans les universités d'Europe jusqu'à la Renaissance, Vésale s'attacha à démontrer les erreurs de Galien en la confrontant avec la réalité anatomique humaine : « *Dans la plupart des cas, la seule Nature est plus prompte à guérir sans intervention du médecin ; la seule chirurgie est efficace sur le corps [...] la médecine n'est qu'un ajout à la Nature [...] Galien a méconnu la différence infiniment multiple qui existe entre les organes d'un corps humain et ceux d'un corps de singe* »¹³. Il entreprit en effet de réviser, corriger voire réfuter les affirmations de Galien, considérées comme définitives par la réalisation de nombreuses dissections qui ne manquèrent de soulever l'indignation de ses pairs et de la papauté (condamné au bûcher, sa peine fut commuée en exil assortie d'une obligation de pèlerinage à Jérusalem). Cette audace dans la pratique médicale fera de lui non pas le maître incontesté de l'anatomie, car il commit à son tour nombre d'erreurs, mais le chercheur dont la méthode et l'ambition ont conduit ses successeurs à repenser les bases de l'anatomie. La négation de Galien atteint son paroxysme avec Ambroise Paré (1510-1590) qui reconnaît ne jamais l'avoir lu. Exemple parfait de l'autodidacte, Paré est considéré comme le père de la chirurgie moderne mettant au point notamment sa technique de ligature des vaisseaux sanguins. Harvey (1578-1667) apporta, à son tour, de nouvelles connaissances dans le domaine de la circulation du sang. Il désigna le cœur comme une pompe musculaire assurant la continuité du flux grâce à ses mouvements. C'est bien du sang qui est propulsé dans les artères puis ramené dans les veines : nous sommes désormais bien loin de la médecine humorale et de « l'esprit vital ». Un déterminisme aussi souple fut-il ne pouvait plus avoir cour en médecine tout du moins...

¹³ Traduit de la préface de « *De Humani Corporis Fabrica* »

3-2 « La diversité des lieux peut entraîner un certain relativisme des mœurs »

En France, l'école politique et statistique est représentée par Chappuys et Bodin (Numa Broc 1986). On a voulu faire de la « République » de Bodin l'ouvrage fondateur du déterminisme géographique (Febvre 1927, Atkinson 1935). Force est de constater que, sur les six tomes de l'œuvre, la géographie n'y tient qu'une maigre place au sein du tome V. Il y dessine les grands cadres climatiques qui portent les activités humaines. Bodin distingue successivement les zones : froides, tempérées, torrides. Il complète son tableau en admettant l'influence du relief : « ... *en même climat, latitude et longitude et sous le même degré, on aperçoit la différence des lieux montueux à la plaine, la diversité des hauts lieux aux vallées [...] Les montagnes sont bien souvent plus froides que les régions fort septentrionales* ».

Le climat agirait sur les mœurs et sur les « dispositions » (que l'on pourrait associer au « tempérament » hippocratique) plus que sur les genres de vie. Bodin oppose les « peuples du Midy » faibles et timides aux « peuples du Septentrion » hardis et cruels et considère que les populations des zones tempérées sont les plus aptes à la civilisation. Numa Broc (1986) note que l'on ne doit percevoir chez Bodin ni déterminisme rigide, ni « fatalisme » en ce sens que le libre arbitre humain est sauvegardé et que l'histoire, les lois, les religions ou les coutumes jouent un rôle aussi important que le cadre physique. Notons enfin que la théorie du climat à la Renaissance est presque un lieu commun tant elle est diffusée et reprise sans pour autant être caractérisée par un haut degré de scientificité : elle demeure chargée d'arrière pensées occultes. Quoi qu'il en soit, cette doctrine est purement inspirée d'idées évoquées dès l'Antiquité dans « *Airs, eaux, lieux* » d'Hippocrate.

4 – Les XVII^e et XVIII^e siècles amplifient les changements opérés lors de la Renaissance

Ces deux siècles vont être le support de la révolution scientifique amorcée lors de la Renaissance : « *au lieu de se demander pourquoi les phénomènes se produisent, les scientifiques essaieront d'expliquer comment ils surviennent* » (Thorez 2005). Rauch (1995) soutient qu'aucune école médicale n'a dominé cette période bien que se développe une théorie de la constitution de l'organisme où interagissent fonctions internes et environnement externe. La nature permet, dans ce cadre, une régulation des fonctions corporelles : nature plus que jamais présente durant le siècle des Lumières. La littérature de l'époque déborde d'exemples éloquentes au sein desquels l'influence de la nature (au sens de milieu physique) sur l'être humain (et donc sa santé) se pose avec acuité : une sorte de « néo-hippocratismes ». Les forts liens existant dans des domaines scientifiques variés associant naturalistes et médecins, biologistes et physiciens expliqueront, pour une large part, que l'on doit la création à cette époque du premier réseau de surveillance météorologique à des médecins. Les sociétés savantes prennent une place importante dans le débat tant théorique que pratique.

La fin du XVIII^e siècle correspond à la première Révolution industrielle amorcée en Angleterre. Période de développement économique et démographique sans précédent, elle engendrera néanmoins des conditions de vie très difficiles pour les ouvriers tant au travail que dans leurs logements souvent insalubres : ces conditions sont alors propices au développement de maladies infectieuses. Afin de mieux comprendre les relations existant entre ces maladies, leur lieu d'apparition, leur modalité de diffusion, des médecins de l'époque adoptent une posture géographique : ils établissent des topographies médicales. Ces topographies médicales seront les prémices d'une véritable géographie médicale dont l'essor se produira au XIX^e siècle.

4-1 L'impact de l'héritage hippocratique

Quelques progrès sont à noter en matière de pathologie. Sydenham (1624-1689) développe de sérieuses études mettant en relation saisonnalité et maladies. Surnommé en son temps, « l'Hippocrate anglais », il fut l'un des premiers à élaborer des descriptions précises de nombreuses pathologies comme la malaria, la chorée, la rougeole ou encore la syphilis. Sa thèse dite de la « spécificité » veut que l'on associe à chaque pathologie une cause et une thérapie spécifiques. Il faisait toujours du patient l'objet unique de son observation. Pour lui,

le fondement de la médecine ne repose pas sur des examens scientifiques de conditions anatomiques ou physiologiques, mais sur l'expérience et la connaissance acquise au lit du malade : une démarche véritablement empirique. De nombreux historiens voient en lui un des principaux fondateurs de l'épidémiologie : il eut l'opportunité d'étudier la Grande Peste de Londres de 1661 à 1675, en même temps que de sévères épidémies de variole. Ce type de travaux resta malgré tout marginal.

En revanche, de nombreux essais philosophiques vinrent essayer d'expliquer les structures sociales par l'influence du milieu naturel et notamment l'influence climatique. De Félice (2006)¹⁴ expose dans son chapitre « climat et société » l'apport des penseurs de ce temps dont les thèses vont dans la continuité des écrits de Bodin précédemment évoqués.

4-1-1 *L'esprit des Lois* de Montesquieu

L'objet de ce travail n'est pas de dresser un portrait détaillé de Montesquieu (Charles de Secondat Baron de la Brède et de. 1689-1755). Nous nous contenterons de mettre en lumière sa « théorie des climats » incluse dans « L'esprit de Lois ». « L'esprit » est constitué par les principes, motifs, et pulsions d'après lesquels l'homme se dirige. Montesquieu constate une grande diversité des lois et des mœurs, mais note parallèlement certaines régularités : ce qu'il nomme des « lois ». Il existe un « *esprit des lois* », différent pour chaque nation. Il y a des causes physiques (le climat en fait parti) et des causes morales (religion, tradition, mœurs) à l'origine de l'esprit des lois. L'existence d'un « *esprit des lois* » est évidente pour Montesquieu (Ivo Rens 1998). Voyageur aguerri (il a visité la Hongrie, l'Italie, la Hollande ou encore l'Angleterre), il avait une vision synthétique assez juste des climats, des mœurs, des régimes des différents pays d'Europe. Il va ainsi essayer d'expliquer la diversité des régimes politiques par la diversité des climats. Le facteur thermique semble d'ailleurs y prendre une place toute particulière. Dans les régions froides, l'homme est fort, a beaucoup de connaissances et est peu sensible aux plaisirs : les hommes y ont la monarchie et la liberté. Dans les pays chauds, les gens « *paresseux* » préfèrent le despotisme. De Félice (2006) note que Montesquieu a observé sur la langue d'un mouton que le froid pousse les fibres à se resserrer tandis que la chaleur semble les dilater. Ceci va lui permettre de conclure que « ... *les habitants des climats chauds sont plus petits, plus secs, plus vifs, plus gais [...] mais sont moins rigoureux, moins laborieux* ». Dans le même temps il notera le courage et la force de travail des habitants des climats froids. Il distingue : Nord (force), Midi (religion), Tempéré

¹⁴ De Félice 2006 *Histoire de la climatologie*

(raison & justice) mais précise que la discipline peut changer la nature. Concernant les mœurs, Montesquieu opère cette même distinction Nord-Sud et avance que « *dans les climats très chauds, l'amour est un désir aveugle et impétueux [quand] dans les climats tempérés l'amour est une passion de l'âme, une affection réfléchie...* ». Il va même jusqu'à dire qu' « *il faut écorcher un moscovite pour lui donner du sentiment* ». Montesquieu nous met en garde contre ce déterminisme. Le climat est seulement un facteur de ce qu'il appelle l' « *esprit général* » d'une nation. L'esprit général, c'est le climat, la religion, les lois, l'influence du passé et les mœurs. La variable dominante sera différente en fonction de la nation : les « Sauvages » sont dominés par le climat, les « Chinois » par les manières, les « Romains » par les maximes, et les « peuples civilisés » par les mœurs. La lutte contre l'esclavagisme va s'intensifier à la fin du XVIII^e et au début du XIX^e siècle : dès lors les idées de Montesquieu vont devenir de moins en moins bien perçues jusqu'à devenir politiquement incorrectes au milieu du XX^e siècle (De Felice 2006) même si celui-ci dénonça ouvertement cette pratique en opposant la raison et l'humanité à toutes les sortes d'esclavage.

4-1-2 Le Dictionnaire Philosophique de Voltaire

Voltaire (François Marie Arouet dit 1694-1778) va également mettre en avant un possible impact climatique sur la religion. Dans le cadre de l'article « climat » de son *Dictionnaire Philosophique*, Voltaire affirme que « *les religions ont toujours roulé sur deux pivots, observance et croyance : l'observance tient en grande partie au climat ; la croyance n'en dépend pas* ». On sent plus de retenue dans les propos de Voltaire qui semble en retrait par rapport aux thèses soutenues par Bodin puis Montesquieu. Il ira jusqu'à avancer que les Parisiens, dont « l'atmosphère » n'a pas changé, étaient caractérisés par la gravité de leur tempérament (selon l'empereur Julien) pour être aujourd'hui (*i.e.* en son temps) des enfants « badins » et « rieurs ». Il croit ainsi tenir le parfait contre-exemple à l'attention de « *ceux qui soutiennent que l'atmosphère fait tout* ». Voltaire montrera une tempérance dans ses propos et un retrait vis-à-vis d'un certain déterminisme.

4-2 Le poids des sociétés savantes

Une société savante est une association d'érudits, leur permettant de se rencontrer, d'exposer le résultat de leurs recherches et de confronter leurs idées entre spécialistes du même domaine. En France, l'essor des sociétés savantes date du XVIII^e siècle ; ces associations dans

les régions françaises se réunissent autour de thèmes divers, souvent l'histoire régionale ou l'étude du patrimoine. Les sociétés savantes au XVIII^e siècle sont constituées de trois échelons : la recherche universitaire au sommet, les élites régionales à l'échelon intermédiaire et les bataillons d'instituteurs à la base (Pelosse 1990 ; Noël-Waldteufel 1995). Le champ des sociétés de province va se réduire peu à peu à une forme quelque peu routinière de description de phénomènes et de collections de données. Nombre d'observations furent compilées par les diverses sociétés savantes : météorologiques, médicales, agricoles... Nous constaterons, dans ce chapitre, que les naturalistes et les médecins ont mélangé leurs savoirs et que, parfois, les uns ont effectué les relevés des autres. Plus précisément, nous envisagerons l'apport spécifique des sociétés de médecine ou d'agriculture dans le domaine de la météorologie ; tout ceci après avoir présenté les travaux de l'Observatoire. Nous avancerons ainsi que les préoccupations santé - environnement ont été à l'origine de la création d'un premier réseau de surveillance météorologique, et ce, avant même le réseau de Le Verrier.

4-2-1 L'académie des sciences et l'Observatoire royal

Sous la pression de nombreux scientifiques qui demandent à Louis XIV de créer sans plus attendre *une compagnie des sciences et des arts*, Jean-Baptiste Colbert fonde en 1666 l'Académie royale des sciences. Lors de sa première séance, le 22 décembre 1666, est décidée la création de l'Observatoire royal, qui deviendra l'actuel Observatoire de Paris. Il doit servir de lieu de réunion et d'expérimentation pour tous les académiciens mais, en raison de son « éloignement » de Paris, seuls les astronomes l'utilisent. Le 21 juin 1667, les mathématiciens de l'Académie tracent sur le terrain, à l'emplacement actuel du bâtiment, le méridien et les autres directions nécessaires à l'implantation exacte de l'édifice conçu par l'architecte et médecin Claude Perrault. L'Observatoire royal de Paris ouvre ses portes en 1670. Le plan méridien de l'Observatoire définira désormais le méridien de Paris (Roy 1987) Les relevés météorologiques ne seront point effectués de manière absolument régulière avant 1785, date à laquelle trois postes d'observateurs sont créés¹⁵. Absorbées par de nombreuses tâches, l'Académie des sciences n'a que peu de temps et de crédit à accorder à cette « branche mineure » de la physique qu'est la prévision du temps. En dépit d'un relatif abandon de cette discipline, trois noms vinrent porter des contributions substantielles pour l'époque. Nous mentionnerons, en premier lieu, non pas le plus illustre mais le plus emblématique de

¹⁵ Philippe De la Hire se chargera d'effectuer les relevés jusqu'en 1718. Le flambeau est repris par les neveux de Cassini jusqu'en 1754. Les relevés ne reprendront qu'en 1785.

l'interdisciplinarité voulue dans le cadre de cette thèse : Louis Cotte (1740 – 1815). Simple correspondant de l'académie des sciences, il va consacrer l'essentiel de son activité à la météorologie (Fierro 1991). Curé de Montmorency, ami de Rousseau, il créa un observatoire près de son église puis déposa un « *Traité de météorologie* » que l'Académie publia en 1774. Ouvrage d'une grande diversité, des domaines tels que la biométéorologie y seront abordés. Cotte est le premier à tenter un rassemblement des données chiffrées sur le temps qu'il fait à l'échelle de la planète grâce à un puissant réseau de relation disséminé dans le monde entier. Dans le même temps, un physicien chimiste semble également montrer un intérêt marqué pour la prévision du temps : Lavoisier (1743 – 1794). Il a rédigé plusieurs mémoires sur l'atmosphère et réalisé une série d'observations sur la vague de froid de février 1776. Sa contribution fut remarquable dans le cadre de deux notes non datées (Fierro 1991). La première mentionne le chevalier Borda qui serait le premier à avoir entrepris de rapprocher les observations météorologiques faites en même temps dans différents lieux : il nota une correspondance entre la force, la direction des vents et les variations barométriques dans un grand nombre de lieux éloignés les uns des autres. La seconde note de Lavoisier parut dans le *Literary Magazine* d'octobre 1790 mais aurait été rédigée bien antérieurement. Il y énumère les règles permettant de prédire les changements de temps en fonction des variations du baromètre. Ainsi, c'est à Jean-Charles chevalier de Borda (1733 – 1799) militaire, mathématicien et physicien que l'on doit les bases de ce qui deviendra la météorologie synoptique. Il fit fonctionner durant quinze jours (vraisemblablement au début de l'année 1778) le premier réseau d'observations météorologiques simultanées. Il nota que les variations barométriques n'étaient pas synchrones à l'échelle du réseau mais que les baisses et les hausses de pression atmosphériques étaient « transportées par le vent ». En parallèle durant l'an 1777 est lu à l'Académie des sciences un mémoire sur les principaux phénomènes de l'atmosphère. L'auteur, Jean-Baptiste Lamarck, considéra dans son ouvrage *Météorologie* « *les influences immédiates qu'ont sur nous tous les météores, par les variations d'état et de salubrité qu'ils font subir au milieu dans lequel nous vivons [les] conséquences graves qui résultent de l'arrivée et des effets de certains de ces météores* » (Lamarck, 1818). Il préconise l'annotation systématique des états de l'atmosphère dans des registres, explique l'influence astrale sur l'évolution temporelle du climat et pose les bases de ce qu'il nomme la science des météores : la météorologie. Il est regrettable que l'Académie des sciences n'ait rien fait pour pérenniser cette innovante entreprise. La création des sociétés royales d'agriculture et surtout de médecine contribuera à développer les réseaux d'observations.

4-2-2 La Société Royale d'Agriculture

Créée en 1761 (Fig. n°4), la Société Royale d'Agriculture va consacrer une part importante de ses travaux à la météorologie. La connaissance du « temps qu'il fait » dans une optique de prévision sont indispensables dans le domaine agricole : sa finalité est purement opérationnelle. Basées sur un réseau de bénévoles disposé sur l'ensemble du territoire ces mesures, bien que non standardisées, sont opérées avec un appareillage identique dans des conditions relativement semblables. Les éléments du temps relevés sont assez nombreux : température, pression, précipitation, humidité, « ensoleillement », « types de nuages », vent (avec parfois des précisions dans la direction et l'intensité). Fierro (1991) note que ces données chiffrées sont parfois complétées par d'innombrables commentaires « débordant parfois sur l'influence du temps sur la végétation et les animaux ».



Fig. n°4 : Création de la société royale d'agriculture consécutive à l'arrêt du 1^{er} mars 1761

(Source : <http://www.academie-agriculture.fr>)

De savants débats ont lieu dans des correspondances entre des érudits provinciaux (Louis Cotte, entre autres, participa à ce bouillonnement scientifique). Suite aux événements révolutionnaires, l'apport scientifique de la Société Royale d'Agriculture connaîtra une pause jusqu'en juin 1798 date à laquelle celle-ci devint la « société libre d'agriculture du département de la Seine ». Le renouveau de cette instance s'accompagnera d'une spécialisation vers l'étude des temps météorologiques régnant sur les différents terroirs français : l'embryon de l'étude des micro-climats.

4-2-3 L'apport majeur de la Société de Médecine

Si les savants de l'Observatoire, et de l'Académie de sciences en général, tout comme les membres de la société royale d'agriculture ont permis des avancées substantielles dans le domaine de la météorologie, l'apport des médecins a été plus important. De 1746 à 1754 un médecin (Malouin) a tenté d'établir un lien entre le temps qu'il fait et l'évolution des différentes maladies. La Société Royale de Médecine est créée en 1778 et reprend d'emblée un certain nombre d'hypothèses de Malouin. Elle entreprend, sous l'impulsion de ses travaux, la création d'un réseau d'observations tant médicales que météorologiques : tous les médecins du royaume seront invités à y participer. Un arrêt du Conseil d'Etat en 1776 décide d'établir une commission de médecine visant à mettre en relation médecins parisiens et provinciaux dans un but préventif face aux maladies tant épizootiques qu'épidémiques : Vicq d'Azyr (1748 – 1794) en devient le secrétaire. Cet arrêt du Conseil d'Etat propose alors plusieurs pistes de recherches médicales. Deux propositions majeures retiendront notre attention dans la mesure où elles mettent en perspective saisonnalité, climat, particularismes géographiques et épidémies :

- la première propose de tenter d'établir un lien entre les saisons et les épidémies,
- la seconde tend à la création d'une « cartographie pathologique » basée sur l'étude des particularités géographiques du territoire.

Ces propositions, dont la paternité incombe à Vicq d'Azyr, s'inscrivent dans la tradition néo-hippocratique des travaux de Sydenham précédemment évoqués sur la saisonnalité. «*Cette théorie aériste, assignant aux épidémies des causes écologiques liées au temps, inspirée d'un postulat climatologique faux mais stimulant, permet une enquête énorme à l'échelle de la France, solidement soutenue et encadrée par les intendants et l'administration royale*» (Fierro 1991). Le succès de cette initiative fédératrice est sans appel : le quadrillage du territoire est bon et le taux de réponse des médecins provinciaux excellent. Tous sont bénévoles ce qui n'entame en rien la qualité de leurs observations : baromètres et thermomètres sont tous étalonnés selon une méthode standardisée. Vicq d'Azyr préconise la rédaction de notes mettant en relation les données météorologiques et les observations de maladie à la manière de ce que Cotte avait réalisé dans les pages de biométéorologie de son «*Traité de météorologie* ». C'est d'ailleurs Louis Cotte qui sera promu secrétaire de l'enquête météorologique : il ne fera que continuer dans un cadre « institutionnel » ce qu'il avait démarré de manière autonome. Ce réseau fut opérationnel de 1776 à 1792 et permit la

rédaction de nombreuses fiches mensuelles dans « *Histoire et Mémoires de la Société Royale de médecine* » : 56 stations françaises recueilleront au moins 45 mois d'observations.

Les volontés néo-hippocratiques à l'origine de ce réseau seront également à la base d'analyses descriptives des lieux et des hommes dans leurs relations face à la santé et la maladie : les topographies médicales.

4-3 La topographie médicale : une approche purement géographique des problèmes de santé

Le concept de la topographie médicale (TM) est basé sur l'étude géographique plutôt que médicale car son principe d'organisation est spatial. Au XVIII^e siècle, les académies scientifiques vont jouer un rôle très important dans le développement des TM. Certains rattachèrent les TM au courant d'économie politique qui débute en Angleterre au XVII^e siècle avec l'idée que l'homme est une richesse, d'où la tendance à vouloir améliorer le cadre de vie des populations (Thouez 2005). Nous appuierons volontairement notre argumentaire sur la thèse de Rofort¹⁶ (1987) dans laquelle fut étudiée une impressionnante série de TM en France aux XVIII^e et XIX^e siècles (Fig. n°5).

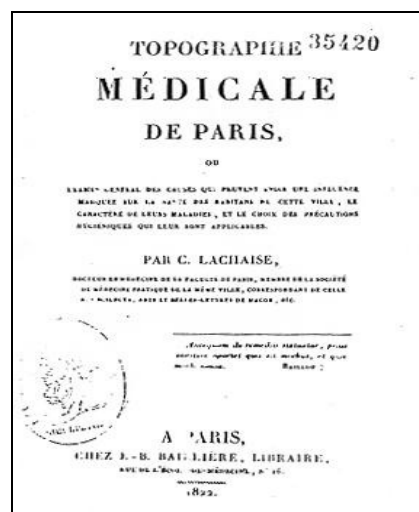


Fig. n°5 : Couverture de la topographie médicale de Paris par C. Lachaise, 1822
(Modifié de Rofort 1987)

Rofort va noter que les objectifs des TM françaises correspondent à l'inventaire des lieux et l'état de santé des populations locales. Les premières explications causales avancèrent qu'à certains lieux correspondaient des maladies spécifiques. Chaque facteur environnemental était analysé avec une pathologie induite par cette cause : de fait il fut recherché, en général, un

¹⁶ Rofort M. 1987 *Les topographies médicales : une géographie des maladies et de la santé aux XVIII^e et XIX^e siècles*

facteur causal unique. Sauf rares exceptions, la TM est rédigée par un médecin dans la plus pure tradition néo-hippocratique. Bien au-delà de la théorie aériste des maladies (*i.e.* engendrées par une altération de l'air), les topographes s'inspirent d'un courant « infectionniste » selon lequel la perturbation de l'organisme est engendrée par des miasmes pathogènes. Une autre théorie évoque la diffusion des maladies infectieuses par la transmission d'un « poison » d'un individu à l'autre et propose comme moyen de lutte la quarantaine.

Rofort mentionne finalement que « *les TM se présentent comme une préfiguration de l'épidémiologie descriptive et analytique et par là même de la géographie médicale qui relève de ces deux démarches* ».

4-3-1 Une réflexion géographique concomitante

C'est en parallèle de la démarche des ces « arpenteurs » (Picheral 1982) que l'on trouve les premières occurrences du terme « géographie médicale » dans la littérature. Les premières mentions d'une « géographie médicale » reviennent à deux médecins de l'époque qui, dans des travaux distincts, ne manquèrent pas de soulever d'importantes questions épistémologiques : un allemand, Finke et un français, Boudin. Finke (1747 – 1837), médecin allemand d'origine danoise, débuta son premier essai par un questionnement : « qu'est ce que la géographie médicale ? » (Finke 1795). Il souligne les relations entre la nature et les lieux mais ne s'engage pas dans l'approche purement descriptive des TM pour s'intéresser plus à des mécanismes de causalité. Barrett (2000) avance que cette démarche n'est possible que s'il y a eu au préalable une conceptualisation des processus causaux pour analyser l'effet des lieux sur la maladie. Finke envisageait trois composantes dans la géographie médicale : la géographie des maladies, de la nutrition et des soins médicaux. Picheral pense que l'on trouve la première mention du terme en français dans un ouvrage de Boudin datant de 1843. De toutes les études de géographie médicale, celle de Hirsch (1817 – 1894) est jugée la plus remarquable. Il critique dans ses volumes toute approche qui ne saurait être que géographique. Pour chaque maladie étudiée, il adopte la même grille : distribution géographique, données historiques, facteurs spécifiques de l'environnement social et physique, différences des maladies selon les régions, coïncidence et antagonisme spatiaux (Thouez 2005). Peu avant l'avènement de Pasteur, il fournit l'évidence que la théorie miasmatique ne permet pas d'expliquer bon nombre de maladies infectieuses.

Une des faiblesses reprochées aux auteurs de géographie médicale est d'avoir trop mis l'accent sur le milieu physique au détriment de l'environnement social. Notons dans le sillage de Picheral que, jusqu'à la première guerre mondiale, la géographie médicale sera le fait des médecins : ceci expliquant peut-être la vision naturaliste, trop axée sur l'hygiène du milieu.

4-3-2 L'inégale répartition des TM en France

Les communes ayant fait l'objet d'une TM entre le milieu du XVIII^e et le XIX^e siècle sont inégalement réparties sur le territoire. On distingue une opposition nette entre les communes situées au nord et au sud d'une ligne Brest – Lyon : la partie septentrionale semblant connaître une densité de TM plus importante qu'au sud, hormis peut-être Midi Pyrénées et une partie du Languedoc Roussillon (Fig. n°6, page 43). Certaines régions comme la Bretagne ou le Limousin n'ont quasiment jamais fait l'objet d'une topographie médicale. Ces études concernent principalement les communes de moins de 5 000 habitants. Rofort va avancer un certain nombre d'hypothèses, de facteurs permettant d'expliquer cette répartition tout comme son évolution dans le temps et dans l'espace :

- Evolution dans le temps...

- Expliquée par le positionnement scientifique des médecins. La philosophie influençant clairement le développement des topographies médicales s'inspire du courant hippocratique. Cette manière de penser la médecine poussa à l'étude des rapports santé, maladie et environnement. C'est finalement la révolution pastoriennne (et la connaissance bactériologique concomitante) qui va conduire à l'abandon (en partie) des principes hippocratiques et, *de facto*, à celui des TM.
- Expliquée par l'apport de la Société Royale de Médecine. Une des volontés de cette société sera de rassembler autant que possible des descriptions tant topographiques que médicales. La société royale va ainsi inviter tous les praticiens à lui faire parvenir la TM de leur lieu d'exercice. Les TM se multiplient à mesure que l'influence de la Société Royale augmente.

- Répartition dans l'espace...

- En lien avec l'urbanisation. Les TM rurales vont dominer jusqu'au début du XIX^e siècle à partir duquel les topographes vont s'intéresser beaucoup plus à l'état de santé des populations urbaines. Les TM prédominent dès lors dans les régions industrialisées du nord de la France : Pas-de-Calais, Alsace-Lorraine, Franche-Comté et dans une moindre mesure Rhône-Alpes. Croissance urbaine combinée au développement industriel expliquent la prolifération de descriptions relatives à l'émergence (ou ré-émergence) de maux divers associés aux mauvaises conditions d'hygiène, de vie, de travail. L'installation de médecins dans ces secteurs peut être expliquée par la présence d'une clientèle potentielle.
- Correspondant à des épidémies et des endémies. Celles-ci peuvent justifier l'élaboration de TM. Rofort explique que le paludisme à l'état endémique au XIX^e siècle serait à l'origine d'un certain nombre de TM dans des villes côtières. De même, un phénomène semblable aurait justifié des TM lors de l'épidémie de choléra.
- Associée aux villes thermales. Le contexte médical des villes thermales ou stations climatiques aurait joué un rôle assez important dans quelques TM de communes rurales.
- Expliquée par la fonction des topographes. Les médecins locaux sont de loin les plus prolifiques dans la rédaction des TM. En revanche, lorsque la topographie médicale est réalisée par un médecin militaire ou un étudiant en médecine, un ordre géographique encore plus net semble se dessiner. La logique des TM communales réalisées par les militaires vise clairement une meilleure connaissance de la santé des troupes. La répartition des TM militaires est assez semblable à celle des garnisons : l'importance des TM aux frontières du nord et de l'est en est l'illustration. Concernant les étudiants en médecine, la répartition des TM leur étant imputable, elle correspond relativement bien à des aires situées autour des grandes facultés de médecine : autour de Montpellier notamment. Malgré tout, Rofort avance que cette logique est plus complexe qu'il n'y paraît et que d'autres facteurs comme l'origine géographique des étudiants tout comme le projet d'installation jouent grandement dans la répartition des TM.

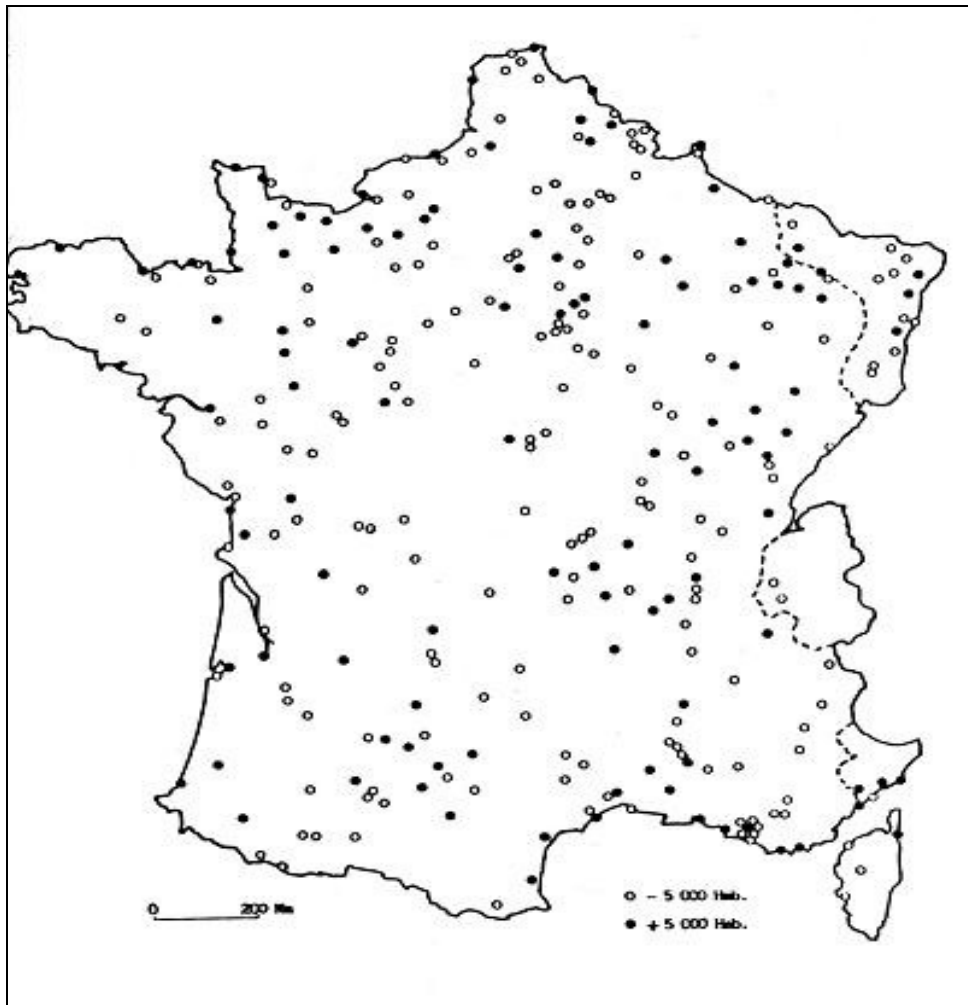


Fig. n°6 : Topographies médicales communales (1756 – 1895)

(Source : Rofort, 1987)

4-3-3 Une étude des lieux et des hommes

Caractérisées par une réelle approche pluridisciplinaire, les TM ont accumulé des descriptions relevant à la fois de la géographie physique (climatologie, biogéographie, descriptions topographiques, voire géologie ou hydrographie) et de la géographie humaine au sens le plus large. Le corps des topographies, à proprement parler, semble composé de trois domaines fondamentaux : la géographie physique, la géographie urbaine et la pathologie. Il existe malgré tout des disparités spatiales et temporelles dans la primauté accordée à telle ou telle approche.

L'importance de ces approches est d'ampleur très variable bien que certains traits réguliers se distinguent nettement : la description physique du lieu est une constante dans les TM des XVIII^e et XIX^e siècles. Des disparités thématiques ou régionales sont néanmoins observables. L'étude climatologique correspond en moyenne aux deux tiers de ce champ pour atteindre

plus de 90 % dans certaines TM comme à Montpellier. Le climat y est pris au sens très large : « [...] (il s'agit de) l'observation des toutes les altérations que notre corps éprouve de la part de l'air, des eaux, des lieux dans les différents pays, selon les saisons, les vents, les degrés de chaleur ou de froidure habituelles [...] l'humidité (des terrains) ». Ainsi, dans ce cadre d'étude, une bonne TM c'est aussi une bonne étude du « climat ».

L'étude de la géographie urbaine est plus variable dans l'espace et dans le temps : une plus grande uniformité des observations est effective à partir de 1862 (TM de Saint Etienne). Malgré tout, force est de constater que la géographie urbaine correspond au domaine le plus important au sein des TM. Les auteurs envisagent la géographie urbaine sous trois aspects : étude de l'espace, étude sociale et étude démographique. L'étude de l'espace correspond à une phase de description de la ville étudiée, de sa taille, de son niveau de salubrité. Le développement de l'urbanisation explique pour une large part l'importance croissante de cette étude spatiale dans le cadre des TM. L'étude sociale à l'intérieur des TM diminue de manière assez constante tout le long de la période d'élaboration des topographies. Elles deviennent marginales voire inexistantes à la fin du XIX^e siècle quand est démontré que la maladie est causée par un microbe et que les conditions de vie ou l'éducation semblent peu influencer sur la santé. L'étude démographique apparaît comme relativement constante sur la période considérée. Il semble, en outre, qu'aucune association entre la taille des villes et l'importance de ces études ne puisse être réalisée. Malgré tout, les progrès opérés dans les domaines du recensement expliquent la part légèrement grandissante prise par ces études en fin de période. L'utilisation de ces données chiffrées fait encore débat : pouvaient-elles vraiment permettre de vérifier l'influence d'une bonne ou d'une mauvaise hygiène dans les villes ou n'avaient-elles qu'une simple utilité administrative ?

La part accordée à l'étude pathologique des maladies est celle qui présente le plus d'irrégularités puisqu'elle représente 5 à 319 pages selon les topographies étudiées par Rofort. Pour résumer, l'importance accordée à ces domaines d'études devient légèrement plus régulière en fin de période du fait d'un accès plus aisé à des informations de plus en plus variées.

4-3-4 Des données collectées hétéroclites

Elles correspondent à trois grandes catégories : les données de maladies, les données environnementales (au sens large) et les mesures de la santé :

- les données de maladie

Les maladies soumises aux études topographiques sont essentiellement les maladies infectieuses. Elles sont énumérées soit les unes après les autres soit de manière ordonnée. Dans le cadre d'une simple énumération, la représentation que se faisait le médecin de la maladie a pu entrer en ligne de compte (« *maladies les plus communes, les plus notables, celles qui règnent habituellement* »). L'importance de la maladie en termes de mortalité n'influe pas sur sa position dans l'ordre des maladies étudiées. Lorsqu'il existe un certain ordre dans l'agencement des descriptions des maladies, plusieurs méthodes de présentation furent notées : relatives aux saisons, infectieuses ou non infectieuses, épidémiques ou endémiques.

- les données environnementales

Les caractéristiques des milieux physiques, urbains et sociaux font l'objet de descriptions détaillées appuyées par un grand nombre de données. L'observation du milieu physique est toujours l'objet des premiers chapitres avec son cortège de descriptions topographiques, géologiques, biogéographiques, climatologiques etc. Ces informations sont, en majorité, issues de compilations de travaux antérieurs. Cette description de la géographie physique du lieu n'a pas ou très peu été mise en relation avec les maladies et la santé. Vient ensuite une description de l'espace urbain. La ville est décrite du point de vue de ses constructions : indications concernant l'habitat ; disposition des rues et des places publiques ; localisation des bassins d'emploi, des établissements de denrées alimentaires ou de soins ; approvisionnement en eau et élimination des déchets. Un réel souci d'étude de salubrité des villes semble poindre dans ces descriptions. Enfin, une étude des caractéristiques des populations est réalisée dans une dernière partie. Les caractéristiques sociologiques sont issues de « l'impression » produite sur le médecin topographe lors de ses consultations ou visites. Elles portent généralement sur le travail, l'alimentation ou les loisirs. Les caractéristiques démographiques seront plus présentes en fin de période du fait de l'amélioration des méthodes de recensement. Elles seront soit strictement démographiques (âge, sexe, nationalité) ou présenteront une orientation sanitaire (natalité, mortalité).

- les mesures de la santé

Selon l'utilisation ou non de l'appareil statistique, la mesure de la santé va se présenter sous deux angles différents. Si des données numériques ne sont pas disponibles, l'auteur va donner une image de l'importance de la maladie par l'emploi de comparatifs ou de superlatifs : « plus

qu'à l'accoutumé », « extrêmement fréquentes ». Lors de l'usage de la méthode numérique, la mesure de la maladie sera évaluée sous la forme de rapport ou de taux.

Pour Rofort, l'étude descriptive de l'environnement et de la pathologie présente ne peut pas aboutir à la présentation d'une image globale de l'état de santé de la population du fait de l'absence de définition de la population étudiée, de repères temporels et de données quantifiées en nombre suffisant. La topographie médicale constitue néanmoins une « géographie médicale » qui utilise des méthodes d'épidémiologie descriptive et analytique : elle décrit la santé et la maladie en rapport avec l'ensemble des facteurs de l'environnement local.

5 – De l'intérêt des médecins à celui des géographes

La mutation dans la manière de percevoir l'origine des maladies doit beaucoup aux travaux de Pasteur (1822 – 1895). Bactéries et microbes seront responsables de la maladie, l'environnement jouant un rôle mineur. Cette révolution bactériologique émerge dans les dernières décennies du XIX^e siècle, mais, en dépit du grand succès des « pastoriens », quelques grandes figures scientifiques eurent du mal à accepter l'hypothèse des germes. Un problème restait, avec cette hypothèse, en suspens : les bactéries étant présentes partout, pourquoi les épidémies frappent-elles seulement certains lieux à certains moments ? Pettenkofer (1819 – 1910) expliquera, en étudiant une épidémie de choléra autour de Munich, que le vibron seul ne peut pas être la cause de la maladie : il introduit la notion de « facteurs prédisposants » (matières infectées, conditions locales, conditions hydrologiques, conditions personnelles etc. ...). Le choléra, selon lui, n'est pas transmis d'un individu à l'autre (contagion) mais d'un lieu à l'autre (transmission) (Barrett 2000). Il analyse ainsi, les modalités de diffusion spatiale de l'épidémie et entrevoit le rôle des communications (le chemin de fer notamment).

Quoi qu'il en soit, l'apport des travaux de Pasteur fut tel que la médecine considère « un avant et un après » donc une « révolution pastoriennne ».

5-1 La révolution bactériologique

L'imposante œuvre de Pasteur pourrait nous conduire vers de longues digressions. Nous ne choisirons d'appuyer notre propos que sur les points essentiels qui orientent la géographie médicale en-dehors du traditionnel sentier hippocratique.

5-1-1 Le principe de spécificité et l'origine microbienne des maladies

Pasteur démontra le rôle pathogène des microbes et prouva qu'à chaque fermentation correspond un germe spécifique : c'est le principe de spécificité. Cette découverte de la nature des germes responsables des principales maladies infectieuses donne un fondement scientifique aux préceptes hygiénistes des XVIII^e et (surtout) XIX^e siècles (Berding *et al.* 1989). Pasteur propose ainsi une vision révolutionnaire sur la maladie défini désormais comme « *un phénomène exogène et non plus comme un dysfonctionnement interne* » (Poirier, Salaün 2001). Avant de travailler sur la fermentation microbienne et de porter atteinte au

mythe de la génération spontanée, Pasteur travaille essentiellement sur la structure des molécules (plus précisément leur chiralité). Ce n'est qu'à partir de 1855 qu'il réalise quelques avancées dans le domaine de la fermentation : en menant des recherches sur le lait, le vinaigre, le vin ou la bière, il démontre que la fermentation est due à des êtres vivants microscopiques (les levures) qui ne naissent pas spontanément mais proviennent du milieu extérieur. Ses travaux sur la levure vont rapidement le conduire à remettre en cause la doctrine de la génération spontanée : il démontra que tout germe provient nécessairement d'un autre germe. Dans la même lignée scientifique, en 1864, il met au point un procédé de « chauffage des vins » permettant de détruire les germes sans altérer la qualité de la boisson : la « pasteurisation » est née. Ce n'est qu'à partir de 1877 que Pasteur investit le champ de la pathologie en s'intéressant aux maladies infectieuses (identification, culture, inoculation des microbes puis atténuation des germes et vaccins). La théorie de l'origine microbienne des maladies contagieuses existait à l'état d'hypothèse depuis 1835 (Agostino Bassi l'avança pour la première fois dans un ouvrage sur la muscardine, une des maladies du ver à soie). Les travaux de Pasteur sur la fermentation stimulèrent néanmoins le développement de la théorie microbienne des maladies contagieuses. Davaine, en préambule de ses publications de 1863 considérées comme la première preuve de l'origine microbienne d'une maladie transmissible à l'homme, écrivait « *M. Pasteur, en février 1861, publia son remarquable travail sur le ferment butyrique, ferment qui consiste en petites baguettes cylindriques, possédant tous les caractères des vibrions ou des bactéries. Les corpuscules filiformes que j'avais vus dans le sang des moutons atteints de sang de rate ayant une grande analogie de forme avec ces vibrions, je fus amené à examiner si des corpuscules analogues ou du même genre que ceux qui déterminent la fermentation butyrique, introduits dans le sang d'un animal, n'y joueraient pas de même le rôle d'un ferment* » (Davaine C. 1863). Pasteur, en 1880, rappelant ses travaux sur les fermentations insista sur le fait que la médecine humaine s'empara de la lumière qu'apportaient ces nouveaux résultats. On s'empressa notamment de rechercher si les virus ne seraient pas des êtres animés : on avait bel et bien changé de représentation sur la maladie.

5-1-2 Le principe d'atténuation et les premiers vaccins

Avec la découverte des vaccins, dont celui de la rage, il fixe les principes de la prévention des maladies infectieuses : c'est le principe d'atténuation. En seulement quelques décennies, il parvient à fonder l'étiologie de la plupart des maladies infectieuses et jette les bases de

l'élaboration d'une thérapeutique préventive à l'aide d'une méthode clairement expérimentale. La vaccination est désormais un des piliers de la médecine préventive. Partie d'une observation empirique d'immunité croisée entre deux maladies, la vaccine et la variole, la vaccination est devenue une science à part entière débutant par l'isolement de l'agent pathogène, sa culture, son atténuation ou son inactivation pour fabriquer un vaccin (Guérin 2007). Ses recherches sur les maladies infectieuses l'amènent à la découverte du staphylocoque. De nouveau, il doit combattre les vieilles doctrines qui font autorité au sein de la communauté scientifique pour que ces bactéries et autres microbes soient reconnus comme étant les agents des maladies contagieuses. En 1880 il expose dans une communication le principe du virus-vaccin et met au point trois ans plus tard son premier traitement vaccinal contre le rouget des porcs. Pasteur s'attache ensuite à mettre au point une méthode d'atténuation de la virulence des microbes (responsables du choléra des poules ou du charbon des moutons notamment). Il réussit à stabiliser le virus de la rage par passages multiples d'une espèce à l'autre, et présente dès 1884 les résultats prometteurs d'une expérimentation de vaccination préventive de chiens contre la rage. Pasteur cherche alors à améliorer sa méthode et atténue la virulence de la rage en exposant des moelles de lapin contaminées à l'air : leur utilisation pour la vaccination préventive des chiens s'avère efficace¹⁷. Louis Pasteur a alors l'idée d'utiliser cette vaccination pour créer l'immunité après morsure, et de passer à l'homme. En 1886, Pasteur conclut que « *La prophylaxie de la rage après morsure est fondée* ».

Moulin (2004) expose que cette théorie a provoqué un remaniement de la nosologie ou classification des maladies en fonction des agents pathogènes identifiés comme les causes principales des affections. A la fin du XIX^e siècle, la médecine moderne a signifié en Occident l'introduction du laboratoire dans le diagnostic et le suivi du traitement, et sa revendication s'accompagnait de la dévalorisation de la tradition savante antérieure et d'une laïcisation accrue de la profession médicale. La révolution pastoriennne apportée par la théorie infectieuse et l'identification microscopique des bactéries n'a pas transformé du jour au lendemain la pratique clinique millénaire par l'introduction de la biologie expérimentale. Le modèle mono-étiologique a permis de considérables avancées dans le domaine médical. Néanmoins, il apparut trop fermé pour expliquer les conditions d'occurrence, de développement et de diffusion des maladies. L'agent bactériologique est une condition nécessaire mais non suffisante à l'occurrence de la maladie infectieuse : un environnement favorable au microbe, une vulnérabilité de l'hôte sont autant des conditions participant au développement et à la propagation des maladies. Des besoins pour des modèles explicatifs

¹⁷ <http://www.pasteur.fr/ip/easysite/go/03b-000016-07m/louispasteur-rage>

« pluri-étiologiques » apparaissent là où des dimensions et des perspectives clairement géographiques se dessinent. C'est dans ce contexte que des géographes (au sens académique du terme) s'intéressent au pan médical de la géographie. Nous exposerons ainsi dans ce paragraphe, le travail emblématique de Max Sorre qui a jeté les bases scientifiques de la géographie médicale comprise comme la géographie des maladies.

5-2 La géographie humaine comme écologie de l'homme

Max Sorre étudie essentiellement les maladies infectieuses dont la répartition était expliquée par le processus et les modalités de la chaîne épidémiologique. En outre, il énonce le concept de complexe pathogène, cette « association parasitaire d'êtres vivants dont l'homme est la victime dans des conditions spécifiques de transmission liées au milieu naturel et aux modifications anthropiques des conditions naturelles » (Thouez, 2005). Sorre semble se réclamer de deux courants de pensée : l'écologie de l'homme et l'héritage vidalien dont il était le disciple.

5-2-1 Influence climatique sur les fonctions organiques

« La première tâche de la géographie humaine consiste dans l'étude de l'homme considéré comme un organisme vivant soumis à des conditions déterminées d'existence et réagissant aux excitations reçues du milieu naturel » (Sorre 1933). L'écologie humaine n'est point neuve et revendique des fondations antiques. Dès lors que l'homme a tenté de considérer la santé ou la maladie, il a mis ces états en relation avec des variations du milieu, climatiques notamment : en ce sens, le *corpus* hippocratique peut être considéré comme le premier essai d'écologie de l'homme.

La grande richesse des travaux de Sorre ne nous permet pas d'évoquer en détail son apport à la géographie. Nous nous contenterons de mettre modestement en lumière les points du « complexe atmosphérique » (ou facteurs climatiques) soupçonnés météoropathologiques. Pour Sorre, le milieu est un complexe susceptible d'être dissocié en d'autres complexes dont les activités interagissent : le complexe le plus simple étant le climat. De ses caractères, dépendent l'existence et le jeu de tous les autres. Le bon fonctionnement de l'organisme humain est lié à sa capacité de résistance face aux agressions extérieures. Température, vent et humidité se combinent pour définir une résistance thermique propre à chaque individu. Sorre ira jusqu'à réaliser des typologies « raciales ». L'organisme doit en permanence établir un

niveau d'équilibre entre sa production et sa dépense de chaleur. Sa production de chaleur dépend en majeure partie de la combustion de tissus, par contre, les pertes peuvent être de multiples origines : rayonnement de la peau, perte par transpiration, évaporation pulmonaire, échauffement mécanique etc. ... Dès 1806, Delaroche et Berger expérimentent l'action des hautes températures sur l'organisme et concluent que la résistance thermique de l'être humain est grande. Malgré tout, dans la limite des températures compatibles avec la vie, les variations de température sont à l'origine de différents états pathologiques. Le froid comme le chaud peuvent altérer les muqueuses et rendent l'organisme plus vulnérable aux attaques microbiennes. Sorre va ainsi distinguer l'influence thermique du milieu de l'organisme et les stratégies tant métaboliques qu'artificielles mises en jeu dans l'adaptation à celle-ci et l'influence du champ électrique et de la ionisation de l'air sur les échanges et la nutrition des tissus . Il énonce, enfin, l'influence probable des vents sur les états de santé.

- la résistance au froid

Sorre remarque que l'homme peut s'accommoder de températures très basses. En limite de résistance, on observe préférentiellement l'action du froid sur les tissus périphériques moins bien réchauffés par une circulation sanguine moins active : doigts, nez, oreilles. Mais, dans cette lutte, « l'organisme montre une souplesse prodigieuse » (Lefèvre 1938). De plus, l'être humain va développer des parades artificielles d'une grande efficacité. Il adapte son régime alimentaire et le rend plus gras : graisses d'ours, de phoques, de morses, de baleines composent notamment le régime des Esquimaux. Ces besoins en lipides servent autant à la thermogénèse qu'à l'entretien des réserves lipidiques sous-cutanées. La résistance au froid se fait également par le port d'enveloppes vestimentaires épaisses, véritables isolants, dont l'agencement permettra de mettre en avant telle ou telle propriété : chaleur, imperméabilité, respirabilité. L'objectif principal reste néanmoins la lutte contre la déperdition calorique.

- la résistance au chaud

Afin de diminuer l'effet de la chaleur sur l'organisme, trois processus peuvent être mis (plus ou moins simultanément) en action : modification de la déperdition directe, accroissement de l'évaporation cutanée, diminution des combustions internes. A partir de températures véritablement élevées, c'est le processus d'évaporation qui semble être le plus efficace pour devenir le seul mécanisme régulateur au-dessus de 35°C. C'est pour cette raison que Sorre mentionne une étude de Millot (1939) dans laquelle il montre que les habitants des régions chaudes sont les mieux pourvus en glandes sudoripares. Il établit un classement racial en

fonction du nombre d'orifices glandulaires, des moins biens aux mieux pourvus : « Blancs des USA », « Nègres des USA », « Philippines », « Négritos », « Hindous ». Il énonce enfin que s'il y a une limite à l'adaptation aux températures élevées, elle n'est pas indiquée par ces « accidents » dont on rend communément la chaleur responsable : insolation, coup de chaleur, syncope thermique... Le seul trait commun de l'influence de la chaleur serait une diminution du métabolisme général des êtres.

- météoropathologies dues à l'électricité

Le champ électrique joue un rôle important dans les associations d'éléments météorologiques. Sorre prend comme exemple la situation orageuse quotidienne en pays tropicaux et note que ces journées orageuses ont pour effet de « surexciter » les « constitutions nerveuses » et peuvent expliquer les recrudescences de certaines maladies sans précisément les nommer et sans distinguer des vulnérabilités différentielles raciales comme il le fut pour l'influence thermique. Les orages sans pluies seraient ceux qui tendent le plus le système nerveux.

- complexes météoropathologiques dus à certains vents

Les effets du vent sur les fonctions de l'organisme ont été mentionnés pour différents vents. Les vents de montagne, en régions tempérées et froides, abaissent le tonus nerveux et « dépriment l'esprit ». Un certain nombre de troubles semblent apparaître : irritabilité, hypersensibilité sensorielle, diminution de l'appétit, migraines, rhumatismes etc. ... Ces constatations furent réalisées de la même manière pour le *vent d'autant*, le *vent du midi* mais également le *sirocco*. Dans le cas des vents de désert, un facteur aggravant correspond à la charge solide transportée qui effectue un mitraillage des parties superficielles de la peau.

Finalement Sorre note que l'organisme humain est en lutte contre le milieu ambiant. Dans un article publié en 1933 dans les *Annales de Géographie*, il considère que « *l'homme intervient dans les modifications du milieu naturel et dans la propagation des maladies qui en dépendent* ». Ainsi pour mieux comprendre les conditions d'émergence des maladies infectieuses, il définit les « complexes pathogènes ».

5-2-2 Les complexes pathogènes

L'interdépendance des organismes mis en jeu dans la production d'une même maladie infectieuse permet de dégager une unité biologique d'un ordre supérieur : le complexe

pathogène. Il s'agit d'une association parasitaire d'êtres vivants dont l'homme est la victime dans des conditions spécifiques de transmission liées au milieu naturel et à ses modifications d'origine anthropiques. L'homme intervient donc dans les modifications du milieu naturel et dans la propagation des maladies qui en dépendent. En prenant notamment l'exemple de la malaria, Sorre démontre que cette maladie est étroitement liée à certains caractères oro-hydrographiques, climatiques et biologiques des contrées où elle est observée. Il note que son aire d'extension est immense démontrant qu'en dépit de facteurs physiques prédisposant la malaria est également une affection sociale.

Dans le cas de la malaria, plusieurs maillons constituent le complexe pathogène : l'agent infectieux (ici le plasmodium), le réservoir (ici l'être humain), le vecteur (moustiques du type anophèle) et l'hôte (dont la vulnérabilité dépend de la prolifération ou non des anophèles). L'agencement, la combinaison et la superposition de ces maillons permettent de définir une aire pathogène. Ces aires pathogènes aboutirent parfois à la constitution de cartes mettant en lumière les régions où sévissaient telle ou telle maladies infectieuses. La carte des régions paludéennes en France métropolitaine exposée dans l'œuvre de Sorre répond à cette volonté de représentation des aires pathogènes (Fig. n°7, p.54). Présence de l'agent infectieux associé à la prolifération des moustiques dans des milieux humides (de nombreux marais et des zones littorales) pouvant atteindre des bassins de population importants (les villes de Bordeaux, Limoges, Amiens ou Nantes sont mentionnées) constituent une bonne partie du complexe paludéen en France métropolitaine.

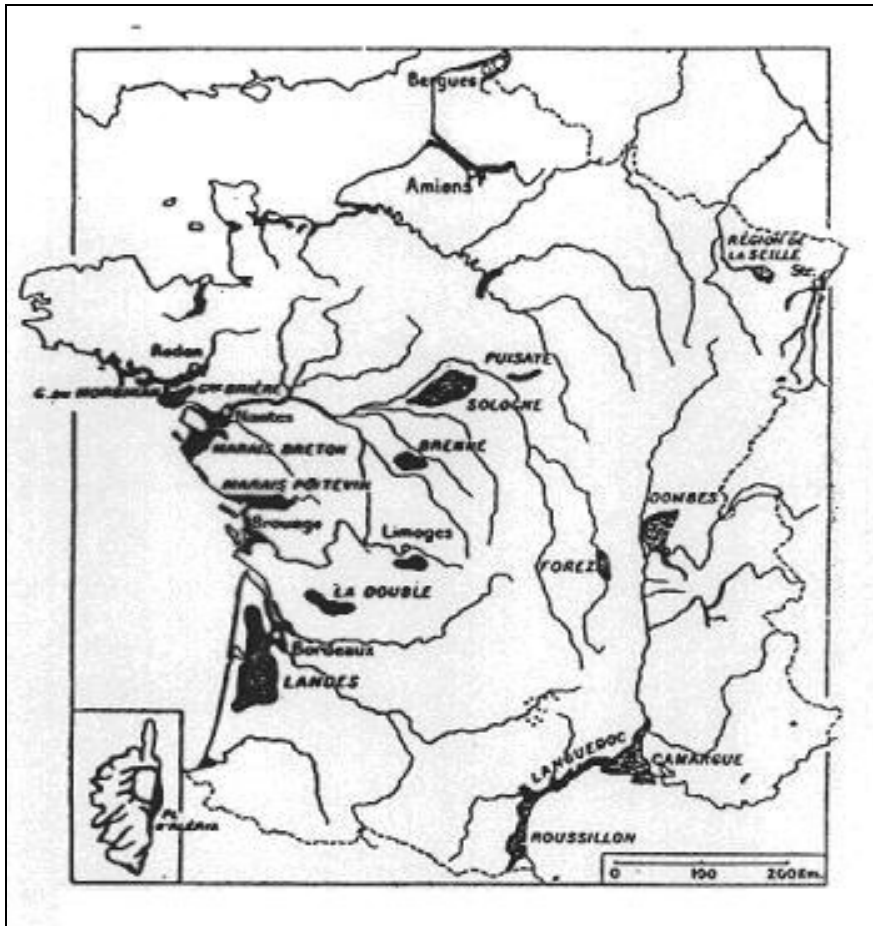


Fig. n°7 : Anciennes régions paludéennes en France (Sorre, 1933)

Les aires pathogènes s’inscrivent dans un cadre spatial rigoureux défini par les limites mêmes du complexe. Sorre se limitera néanmoins à l’étude de la pathologie infectieuse.

Max Sorre dans ses prises de positions parfois radicales s’attira quelque peu les foudres de ses pairs considérant sa géographie comme trop déterministe, faisant la part belle aux facteurs « naturels » de la maladie pour finalement négliger ses composantes sociales. On dénonça alors l’incompétence du géographe dans le domaine médical et le fait que sa démarche analytique et descriptive (que Picheral en 2001 qualifie de systémique avant l’heure) n’avait qu’une portée limitée. Dans le sillage de Max Sorre, deux voies distinctes vont s’ouvrir aux géographes. La première va s’inspirer nettement de Sorre et développer des recherches d’écologie médicale portant sur les maladies transmissibles, la seconde, dans la lignée des « néo-épidémiologistes » adopte des méthodes de plus en plus sophistiquées (statistiques et mathématiques) et s’attache à étudier l’intégralité du champ de la pathologie. Ainsi, la géographie médicale « *n’est toujours pas émancipée* » (Picheral 1982), elle n’est toujours qu’une approche parmi d’autres dans le champ des recherches étiologiques.

5-3 La géographie médicale devient géographie de la santé

La proposition de définition de la santé de l'OMS (1946) aussi sujette à controverse fut-elle eut le mérite d'extraire la « thématique santé » de l'exclusif giron médical. Picheral expose que de négatif, le concept devient positif et développe parallèlement une dimension socioculturelle toute nouvelle.

5-3-1 De la nécessité d'introduire des variables géographiques dans l'étude des phénomènes de santé

Ce changement d'attitude se trouve conforté dans les années 1960 par la vulgarisation des notions d'environnement et de qualité de la vie. L'interface santé – environnement fait désormais l'objet de recherches de plus en plus fournies, de plus en plus nombreuses. May (1896 – 1975) propose, dans ce sens, à partir de 1958 une série d'ouvrage qui débute par *The ecology of human disease* (May 1958). Les travaux de May s'inscrivent certes dans le sillage de Sorre par une réflexion de type écologique mais ils s'en éloignent sur d'autres points. Du point de vue strictement conceptuel, la maladie devient un synonyme de mauvaise adaptation à l'environnement. La maladie est le point de convergence de stimuli environnementaux, organiques, inorganiques et socioculturels. Par la suite, May va introduire le concept de complexe pathogène au sein de la géographie médicale américaine avec le « géogène ». Dans le même veinage paraissent les ouvrages de Howe *Man, Environment and Disease* (Howe 1973) et *Environmental Medicine* (Howe, Lorraine 1973). Sa vision revient quelque peu vers un certain déterminisme. Ce déterminisme n'est aucunement restreint à sa composante naturelle mais inclut bien volontiers une dimension sociale, culturelle ou économique. La santé est désormais au cœur d'un « tout », au centre d'un système qui nous oblige à la penser dans toutes ses dimensions et pas simplement dans son opposition santé/maladie.

Signe des temps, les pouvoirs publics se rendent compte que la santé a un prix, que chacun n'est pas égal devant la maladie, qu'il est nécessaire de réduire les disparités spatiales en même temps que les inégalités sociales : la santé doit faire l'objet d'une politique. En peu de temps, le champ de la santé s'élargit tellement que le médecin ne le maîtrise plus dans son intégralité, « *son monopole en matière médicale en est ébranlé* » (Picheral 1982). De nombreux acteurs prennent désormais part au débat avec une légitimité toute nouvelle et les géographes ne sont pas en reste. Tout le monde sent la nécessité d'introduire des variables

géographiques dans l'analyse de la santé. Dans le même temps, les géographes eux-mêmes perçoivent à quel point ce nouveau champ d'étude pourrait être le terrain d'expérimentation de toute une série de techniques issues de la « néo-géographie » : cartographie automatique, analyse spatiale, méthodes quantitatives, analyses des processus de diffusions etc. ... A partir de là, toute référence spatiale dans le domaine de la santé devient de ressort du géographe dont les contributions vont désormais bien au-delà de la simple géographie des maladies. En parallèle, de nouvelles approches sont développées : études d'impact de situations morbides sur le développement de populations données, mesures de l'offre et de la demande de soins, thématiques de l'accès au soin... C'est ainsi que pour Picheral, il devient nécessaire de parler de géographie de la santé plutôt que de géographie médicale. La géographie de la santé correspond à la synthèse de la géographie de maladies et de la géographie des soins (Picheral 1985). La géographie médicale, trop longtemps synonyme de géographie des maladies s'en éloigne et incorpore les thématiques de la géographie des soins pour aboutir à la géographie de la santé. Cette géographie de la santé s'attache à mesurer l'ajustement du système de soin aux besoins de santé. Son objectif est l'étude globale et spatiale de la qualité de la santé des populations, de leurs comportements, et des facteurs de leur environnement tant « naturels » que socioculturels qui participent à l'amélioration ou à la dégradation de leur santé. Ainsi dans la diversité des horizons abordés et dans la complexité des thématiques voire des outils manipulés, seule une démarche pluridisciplinaire doit pouvoir venir à bout des problèmes auxquels nous sommes confrontés. C'est ainsi que Picheral énonce « *Utopie ? [...] Non, s'il (i.e. le géographe) admet une fois pour toute qu'il n'est ni médecin, ni épidémiologiste, ni sociologue, ni... Non, si ces derniers acceptent le dialogue et ne se prétendent pas géographes dès qu'ils citent le nom d'un pays ou d'une région et en dresse une carte approximative. Non, si chacun comprend l'obligation d'une démarche pluridisciplinaire dans les faits et non dans les discours* ».

5-3-2 Quelles nouvelles approches ?

Thouez (2005) rappelle les travaux de Curtis et Taket (1996) dans lesquels elles soulignent la grande diversité des approches en géographie de la santé au cours des vingt dernières années.

Elles ont ainsi retenu cinq approches dominantes :

- l'analyse spatiale de la morbi-mortalité, de la santé humaine, et la recherche des causes environnementales et sociales explicatives. Cette approche de type écologique, très descriptive, suggère que l'étude des schémas spatiaux peut amener à mettre en lumière des facteurs causaux des maladies. Ces études vont peu à peu délaisser l'exclusif champ des maladies infectieuses pour se généraliser aux affections chroniques, aux maladies cardiovasculaires ou aux maladies dégénératives tout en les confrontant à des facteurs environnementaux précis supposés causaux. Il est important de noter l'étroite relation liant cette approche et l'épidémiologie : ceci explique notamment le recours de plus en plus notable à des méthodes quantitatives.

- l'analyse spatiale des ressources sanitaires. La thématique du « soin » y est prépondérante. On distingue trois orientations dans le cadre de cette approche. La première va s'intéresser à l'organisation géographique des ressources hospitalières, la deuxième étudie le rapport offre et demande de soin, la troisième s'attache à évoquer l'influence du « comportement » dans le recours ou non au soin. La santé devient un enjeu de l'organisation territoriale du système de santé : une véritable politique d'aménagement doit être mise en œuvre en même temps qu'une veille démographique sur les acteurs de la santé. Les travaux récents d'Evrard dans le cadre d'une « veille démographique » en Auvergne tout comme l'analyse du schéma démographique médical de la région Rhône-Alpes vont dans ce sens. La grande majorité de ces études adoptent clairement des techniques mathématiques. Des modèles sont créés et doivent générer les localisations théoriques optimales de telle ou telle structure de santé. Les géographes de la santé, dans le cadre de cette approche, visent finalement à lier les phénomènes avec leur contexte à différentes échelles pour comprendre la « configuration des comportements à risque ».

- une approche « humaniste ». Celle-ci se base essentiellement sur le pendant de la géographie humaine tourné vers l'anthropologie, la sociologie ou encore la psychologie sociale. Elle va conduire à des études de perception de la santé, des maladies ou de l'état des services de santé. La démarche adoptée ici est nettement moins quantitative, beaucoup plus qualitative. La réalisation d'entretiens permet d'extraire les concepts qui ont guidés la représentation sociale de la maladie. De la même manière, ces méthodes permettent la réalisation d'enquêtes de satisfaction des consommateurs de soins.

- l'écologie politique, géopolitique de la santé et géographie médico-sociale. L'abondant cortège de travaux sur le « bien-être » (ceux de Bailly, 1981, notamment) va dans le sens de cette approche. Son but est l'amélioration de la qualité de la vie des êtres humains dans laquelle l'état de bonne santé au sens « d'état de bien-être » est une composante fondamentale. Elle va insister sur l'étude des processus socio-économiques voire politiques dans la génération d'inégalités de santé. Dans une véritable logique opérationnelle Mark Rosenberg¹⁸ (1988) va examiner le jeu subtil qui s'opère entre facteurs géographiques, médicaux et politiques dans la mise à disposition de services d'avortement dans certaines provinces du Canada. Enfin, une dernière tendance de cette approche va s'intéresser à réaliser des études historiques sur le développement des systèmes de santé.

- l'importance du « lieu » pour l'individu et sa santé. Dans des aires défavorisées Kearns (1991) montre que les ressources sanitaires sont des lieux d'échange social : cette dimension non médicale du lieu est de prime importance dans la réceptivité des soins fournis. Dans cette lignée, des auteurs vont parler de « paysages thérapeutiques » intégrant les notions de « sens de lieu » ou de « paysage symbolique » chères à la géographie culturelle. Cette approche, enfin, peut permettre la mise en place de politiques de promotion de la santé.

Ce pluralisme d'approches, n'est en aucune manière synonyme d'immobilisme. Les passerelles entre les démarches sont nombreuses et la pluridisciplinarité désormais vigoureusement encouragée. Cette mixité tant théorique que méthodologique ne fait que refléter le bouillonnement scientifique dont la géographie fait l'objet. Cet exposé a ainsi permis de comprendre comment la géographie devint une discipline à part entière et légitime dans le cadre des études portant sur la santé. Ainsi, de profonds liens unissent les sciences médicales et géographiques. Nous nous proposons, dans un dernier paragraphe d'analyser une discipline médicale dans ses rapports avec la géographie : l'épidémiologie.

5-3-3 Epidémiologie et géographie : antagonisme et complémentarité

Depuis le milieu du XX^e siècle, les déterminants de la santé des populations font partis des enjeux de recherche de l'épidémiologie qui multiplie les partenariats avec les sciences sociales (la sociologie notamment). En revanche, l'interdisciplinarité entre la géographie et

¹⁸ Mark Rosenberg est l'actuel président de la commission Santé et Environnement à l'Union Géographique Internationale

l'épidémiologie demeure limitée alors même que les liens entre la santé et l'environnement sont reconnus comme indissociables. Ce sont ces mêmes liens qui doivent inviter aux échanges entre ces sciences croisant données physiques et sociales. Epidémiologie et géographie partagent des évolutions et des objectifs identiques tels que l'étude de la distribution des maladies et sur la place de l'environnement dans la propagation des maladies. Fromageot et al. (2005) proposent une réflexion épistémologique et méthodologique sur les positions respectives de la géographie et de l'épidémiologie pour la compréhension des conditions d'émergence des situations de santé. Pour cette équipe, la démarche géographique permet un renouvellement « *des modèles de causalités réciproques développés par l'épidémiologie sociale pour l'identification des déterminants de la santé des populations* ». L'excellent article de Ménard (2002) dresse un portrait exhaustif de l'état des relations épidémiologie – géographie dans le cadre d'un intéressant questionnement sur la géographie de la santé. Le principal problème de la géographie est sa légitimité dans le clan biomédical. De nombreuses références de santé publique, d'épidémiologie ou de médecine mentionnent sous les termes facteurs géographiques des éléments écologiques mais n'évoquent que trop peu les facteurs relatifs aux modes de vie, à l'habitat ou à l'urbanisation, qui n'y sont guère présentés comme faisant partie intégrante d'une géographie. La difficulté de positionnement est à la fois médicale et épidémiologique, puisque le géographe peut aborder des processus épidémiologiques, parfois des cas pathologiques. Le médecin reste détenteur du noble pouvoir de guérir grâce à la science qu'il pratique. L'épidémiologiste se trouve dépositaire d'un savoir tenu pour scientifique, offrant une aide à la compréhension de maladies. L'épidémiologie si proche de la géographie (surtout dans ses pendants d'écologie des maladies) pouvait oublier de plausibles ententes : « *les propos du géographe lui semblaient parfois compliqués pour n'évoquer que des choses simples et plus philosophiques que scientifiques* » (Ménard 2002). La géographie semble avoir rencontré plus de difficultés que les autres sciences humaines et sociales à se faire admettre dans des études de santé, qu'elle examinait pourtant depuis longtemps, bien avant que les géographes au sens académique du terme n'existent. La géographie demeurait perçue comme « science de l'inventaire » et les experts de santé considéraient encore que les décisions de santé publique pouvaient s'établir sans aucune « géographie des lieux » (Salem, 1998).

L'épidémiologie et ses outils biostatistiques considèrent l'espace comme une variable parmi d'autres utiles dont l'intégration dans un modèle est nécessaire à la résolution d'un problème sanitaire (Picheral, 1989). L'objectif de la géographie est finalement de localiser sur un espace déterminé des priorités sanitaires relevées en santé publique, des facteurs intervenants et des

groupes soumis à des risques détectés par l'épidémiologie. Les processus étudiés par l'épidémiologie sont finalement les mêmes qu'en géographie. La pathologie géographique est issue des topographies médicales précédemment évoquées. Ce courant hygiéniste, inscrit dans une veine néo-hippocratique, fut à l'origine d'une nette régression des pathologies infectieuses. Mais l'environnement dont ce courant parlait ne semble qu'une juxtaposition d'éléments physiques. Pour Ménard, la pathologie géographique correspond à une méthode de l'*épidémiologie descriptive* étudiant la distribution « d'affections » dans l'espace et le temps. L'*épidémiologie analytique*, à la suite de la phase descriptive, traite des facteurs déterminant ou favorisant la survenue de maladies au sein de groupes à risques qu'elle essaie de mettre en évidence. L'*épidémiologie spatiale*, comme la géographie des maladies, tente de les positionner dans un environnement. Là se situe la difficulté à harmoniser les deux disciplines. En principe, elles ne cherchent pas exactement les mêmes choses de la même manière. « *L'épidémiologie attend de la géographie qu'elle fasse preuve de son aptitude à décrire et expliquer l'organisation et la dynamique d'espaces, et les inégalités spatiales variées qui en sont la manifestation, et la sait capable de visionner des contextes régionaux* » (Vigneron, 1995).

Le manque de reconnaissance de la géographie par le « clan » biomédical tient plutôt d'une méconnaissance de la discipline géographique, qui tend à s'estomper à mesure que l'on glisse du paradigme « maladie » au paradigme « santé ». Quoi qu'il en soit, le fait est qu'une géographie de la santé a vu le jour : synthèse de l' ancestrale géographie des maladies associée aux préoccupations actuelles de la géographie des soins. Le basculement le plus intéressant de ce chapitre réside dans le fait qu'à partir de cette période, la géographie (qu'elle fut des maladies puis de la santé) devint l'objet de géographes.

6 – Les relations climat – santé

Dans une thèse évoquant de manière approfondie les relations entre des facteurs climatiques et des situations épidémiques, il ne doit pas être fait l'économie d'une évocation de ce pan entier de recherche. Issues des observations météoropathologiques antiques, conservées par les partisans d'un certain déterminisme, ancrées dans la veine hippocratique et renouvelées en dépit de la révolution pastoriennne, ces disciplines liant climat et santé sont, au fil des temps, toujours restées d'actualité. L'objet final, malgré tout, s'est séparé en deux composantes au XIX^e siècle, distinguant d'un côté une logique préventive et de l'autre une logique curative. Le réchauffement climatique est, quant à lui, responsable d'un incroyable foisonnement d'études tentant de lier évolution des températures, migrations de niches écologiques (donc des vecteurs) et déplacement des maladies. Au début du XX^e siècle la climatologie est toujours au programme de la formation médicale. Chaque étudiant passe un examen de climatologie en cinquième année proposé par un enseignant de climatologie titulaire d'une chaire spécifique au sein de la faculté de médecine. Au début des années 1930 seule une trentaine de chaires de climatologie médicale sont répertoriées dans les facultés de médecine, trois seulement aujourd'hui (Nancy, Rennes, Marseille) : ce réel émiettement cache un regain d'intérêt depuis une vingtaine d'années, y compris au sein du « clan » biomédical. Il suffit de parcourir les sites des revues spécialisées pour s'en convaincre. Cette thématique de recherche illustre à merveille le chevauchement entre épidémiologie spatiale et géographie des maladies : le positionnement d'affections au sein d'un environnement. C'est la raison pour laquelle, ces études climat-santé sont menées soit par des chercheurs de santé publique, soit des géographes de la santé mais très (trop) rarement en interdisciplinarité. Dans ce chapitre, nous allons tour à tour évoquer le climat supposé « guérisseur », le climat responsable d'affections, et l'impact du « climat qui change » sur la distribution des maladies.

6-1 Un « bon climat » pour être en « bonne santé » : la climatothérapie

Au XIX^e siècle, sous l'impulsion de thérapeutes désireux de décrire les vertus curatives de certains climats, se développe la climatothérapie. « *Tout grand malade privilégié par le talent ou la fortune se voit en effet imposer de "quitter les frimas" et de passer l'hiver sur les bords de la Méditerranée, l'été le ramenant tantôt chez lui, tantôt dans les villes d'eau, tantôt encore en moyenne montagne* » (Besancenot 2003). Ainsi, vers 1850, l'augmentation de la vitesse des transports permet aux plus aisés d'accéder à des villes de cures aussi bien thermales que

climatiques sans finalement d'indications précises : phénomène de mode plus que réelle préoccupation médicale. Dans un premier temps, la faveur des médecins s'oriente vers les climats « chauds » de la région napolitaine et parfois de l'Andalousie. A l'effet de mode succède la désillusion : le simple changement d'air (du froid au chaud) ne permet finalement pas d'être à l'abri des tuberculeux et les phtisiques sont aussi nombreux sous la chaleur que sous la froidure. Le besoin de tester les propriétés curatives propres à chaque climat va alors se faire ressentir. L'avènement des théories bactériologiques aurait pu avoir raison des partisans de l'influence climatique car « celui qui croyait au microbe ne peut pas croire en même temps à l'action du climat ». Malgré tout, certains scientifiques avancèrent que ces deux conceptions n'étaient pas antinomiques. Cette époque correspond au temps de la tuberculose : maladie du fléau social, de la paupérisation et de la concentration urbaine des plus pauvres. Il fut rapidement noté qu'elle ne se développait nulle part mieux que dans les milieux tempérés humides. Si les méthodes diagnostiques avançaient rapidement à cette époque, la thérapeutique était encore en retard et, dans ce cas précis, pouvait consister à envoyer le malade sous un « climat » supposé néfaste à l'agent infectieux. Besancenot (2003) note que c'est en 1869 qu'apparaît pour la première fois le vocable de « météorologie médicale » sous la plume du docteur Fines de l'observatoire de Perpignan qui la définit en ces termes « *science des phénomènes qui se passent dans la masse gazeuse qui nous enveloppe et des impressions physiologiques et pathologiques que nous en éprouvons* ». S'en suit une impressionnante accumulation de traités qui constitueront la base de l'enseignement de la « climatologie médicale » dans le cadre des facultés de médecine. La fin de l'année 1923 voit, en outre, la société d'hydrologie ajouter à son intitulé le terme de climatologie. C'est dans le sillage du développement de l'enseignement de climatologie médicale que paraît en 1934 le « traité de climatologie biologique et médicale » de Marius Piéry. Fruit d'un réel travail en interdisciplinarité, les trois volumes de cet ouvrage ont toujours été mentionnés comme les plus exhaustifs et les plus universels de la question. Tous les climats et toutes les facettes de la pathologie y sont abordés.

Ainsi, certains climats étaient qualifiés de bénéfiques et la thérapeutique consistait souvent à envoyer le malade respirer ces « airs » purificateurs voire guérisseurs. Deux secteurs étaient néanmoins privilégiés : la montagne et les littoraux.

- le climat d'altitude.

Les Français adoptent les principes de climatothérapie des phtisiques développés par les Allemands et, dans la dernière décennie du XIX^e siècle, multiplient les constructions de sanatoriums. On retient, en règle générale, des stations de moyenne montagne d'altitude inférieure à 1200 mètres alors même que les paramètres atmosphériques deviennent assez tranchés à partir de 1200 mètres, ce qui autorise l'emploi du terme « climat d'altitude ». Dans le même temps, des publications insistent sur l'absence de corrélation entre mortalité tuberculeuse et climat d'altitude. Malgré tout, le culte de l'air et de ses vertus n'est point contesté et des sanatoriums continueront à se développer durant le premier tiers du XX^e siècle.

- le climat marin.

En 1861 est créé le premier hôpital marin de Berck-sur-Mer, En 1862, la première colonie de vacances voit le jour à Arcachon. Vient ensuite en 1887, dans cette même localité, le sanatorium maritime, à l'origine de la fortune de la ville d'hiver. En 1899, Louis Bagot fonde à Roscoff le premier vrai centre de thalassothérapie. Enfin, en 1903-1904, s'ouvre à Cannes le premier établissement d'héliothérapie totale (Besancenot 2003). La climatothérapie tire profit de la connaissance des propriétés du climat marin. Une étape décisive est franchie, dès la fin des années 1870, par Fonsagrives qui met l'accent sur sa stabilité météorologique comprise au sens de la modération des amplitudes (thermiques, hygrométriques, barométriques). Les mérites de l'air pur du grand large sont également vantés. Des facteurs climatiques non-conventionnels mais peu à peu prouvés vont également donner du crédit à ces stations de bord de mer : le potentiel électrique de l'atmosphère en est un exemple. Les villages présentant un champ électrique notable seraient indemnes de tuberculose mais, en plus, passeraient à travers la plupart des épidémies... Sans aller jusqu'à ces excès théoriques, une ébauche de classification raisonnée sur le critère de tension électrique atmosphérique vit le jour conseillant notamment aux sujets hypertendus d'éviter les séjours dans des stations à fort gradient de potentiel électrique.

6-2 Météoropathologie et risque « climatopathologique »

Les cliniciens vont peu à peu demander des mesures de plus en plus précises sur la lumière, la température, la pression atmosphérique, l'hygrométrie, l'état électrique de l'air, etc. Ils vont comparer les données obtenues à celles fournies dans le même temps par l'examen clinique minutieux. Des techniques statistiques élémentaires leur permettent de quantifier la force du

lien existant entre ces deux séries de données. Les premières études visèrent à quantifier le risque de surexposition à des paroxysmes climatiques importants¹⁹. Mettant en lumière les « maladies d'été », des syndromes tels que les « coups de chaleur » ou les « coups électriques par temps orageux » y sont détaillés. Dans le même sens, l'importance de l'écart à la normale se pose avec acuité : en effet, on note qu'une succession d'étés frais déshabituée de la chaleur et augmente la vulnérabilité des individus lors de la survenue d'une vague de chaleur. Avec le XX^e siècle se développe une pathogénie des troubles anémiosensibles : l'effet énervant des flux atmosphériques dans le sillage des travaux de Daremberg puis Mouriquand est démontré. Peu après, M. Piéry va jusqu'à proposer une classification entre sujets météorosensibles et météorostables : il introduit, de fait, la notion de variabilité interindividuelle dans les réactions face au climat. Il est important également de noter dans le cadre de cette thèse les travaux du bordelais Jacques Carles qui adopte le point de vue aérologique et met en exergue le rôle pathogène des fronts : il substitue la dynamique atmosphérique à la simple analyse de paramètres météorologiques isolés (pourtant inter reliés !).

Besancenot (2001) définit finalement le risque « climatopathologique » comme suit : *« chaque fois, du fait de l'atmosphère, en présence d'un paroxysme météorologique de plus ou moins grande ampleur, une altération de l'état de santé a une certaine probabilité de se produire »*. Ce risque se manifeste lors d'épisodes météorologiques paroxysmiques (vague de chaleur ou de froid) et se caractérise par une augmentation nette de la morbi/mortalité lors des admissions hospitalières. Thouez (2005) note que les effets de ces excès thermiques n'ont pas toujours un caractère inéluctable et que la prise en compte de l'adaptation individuelle est un préalable essentiel dans ce cadre d'étude. De nombreux travaux dont l'évocation complète serait longue et fastidieuse ont ponctué ce domaine scientifique durant les vingt dernières années. Notons néanmoins, une fois n'est pas coutume, les travaux de Besancenot portant sur les vagues de chaleur estivale ayant causé des excès de mortalité à Athènes en 1987 ou à Paris en 2003. En dépit du caractère paroxysmique des vagues de chaleur ci-présentées, l'auteur a mis en avant un nombre important de variables sociales augmentant très nettement la vulnérabilité individuelle et expliquant de fait, l'inégale répartition des décès dans la pyramide des âges. Si la vulnérabilité du corps à des excès de température est certes importante dans les âges élevés, comment expliquer que des températures élevées à Marseille ou à Nice ne tuent pas autant qu'à Paris ? L'importance de variables sociales voire culturelles semble grande à la lumière de ces exemples. Configuration du logement (absence de courant

¹⁹ Besancenot mentionne que l'on a coutume d'attribuer à Adolphe-Auguste Lesage les premières études modernes en la matière.

d'air) et mauvaise « culture du risque » se combinent à l'aléa climatique pour expliquer l'ampleur de la catastrophe. Dans le cadre d'Athènes, l'importance de la pollution atmosphérique associée à la vague de chaleur expliqua l'hécatombe.

Dans le cadre d'une thèse souhaitant évaluer l'impact d'un type de temps sur le déclenchement épidémique de la grippe, peut-on parler d'un risque climatopathologique ? Evoquer une descente d'air polaire en France continentale en saison froide, est-ce évoquer un paroxysme climatique ? Un certain nombre d'indicateur de la météorologie nationale nous permettent de quantifier les écarts à la normale et, ainsi, de classer telle ou telle situation dans le cadre d'un excès climatique. Premier point, il va être nécessaire de s'interroger sur la définition même d'un vague de froid ? A partir de quels seuils (thermiques et/ou temporels) cette situation correspondant à un type de temps « normal » de saison froide devient un paroxysme climatique ? Second point (et peut-être le plus important), l'excès de morbidité n'est pas dû au froid lui-même mais à un virus supposé réactivité par des conditions préférentielles conjointement à un affaiblissement des organismes humains. S'il y a risque induit par le climat, il est indirect... On le voit, évoquer un risque climatopathologique dans le cadre de la grippe est hasardeux, voire erroné. On préférera évoquer une situation climatique nécessaire mais non suffisante au déclenchement épidémique.

6-3 Quand le climat change les maladies migrent

Comme l'indique le rapport de l'OMS *Climate change and human health*²⁰ publié en 1996, le problème de santé publique le plus préoccupant en rapport avec les changements climatiques serait le problème des maladies à vecteurs. Les conditions nécessaires au développement de variétés de moustiques vecteurs de maladies infectieuses sont directement à mettre en relation avec des conditions climatiques particulières, en terme de température et d'humidité notamment. D'innombrables scénarios prévoient une redistribution de ces maladies en relation avec l'évolution environnementale des « secteurs supports ». Globalement, les experts prévoient une redistribution de la géographie des maladies infectieuses avec un décalage vers le Nord de ces affections : maladie de Lyme, fièvre à tique du Colorado, dengue et West Nile peuvent être alors considérés comme des risques potentiels au Etats-Unis notamment où la multiplication de cas isolés doit appeler à la plus grande vigilance.

²⁰ <http://www.who.int/globalchange/publications/cchhsummary/en/>

Il se peut que les bouleversements écologiques d'origines naturelles et anthropiques aient des répercussions de plus grande échelle en touchant l'agriculture, en modifiant les paysages et en augmentant les risques associés à la géodynamique externe.

On ne peut contester que, depuis le milieu du XIX^e siècle, la climatologie médicale n'a jamais cessé de progresser en France, même celle-ci n'a pas été linéaire : parfois se manifestait un très vif intérêt pour cette discipline, où se dessinait une sorte de repli sur soi. Toujours est-il que comme le mentionne Besancenot : « *par-delà ses vicissitudes et ses hésitations, ce siècle et demi a vu la climatologie biologique et médicale passer de l'empirisme à une science authentique, même s'il arrive que celle-ci soit à son tour remise en question par les nouvelles orientations de la recherche. [...] (mais) il ne serait peut-être pas inutile qu'elle sache de temps à autre regarder en arrière et qu'elle s'inspire de son passé pour s'assurer un avenir riche de promesses* ».

Conclusion partielle

De nombreux positionnements scientifiques, d'innombrables méthodes, de multiples perspectives géographiques caractérisent les études situées à l'interface santé, environnement et maladie. La manière d'aborder la maladie au cours des siècles n'est que le simple reflet de l'évolution scientifique sous-jacente. Malgré tout, des temps distincts ont ponctué l'histoire de la géographie médicale. Partie des constations hippocratiques de liens pathologiques, celle-ci devint géographie médicale alors que l'hygiénisme se faisait doctrine en Europe et chercha à analyser parallèlement la distribution de telle ou telle maladie. C'est en s'extrayant du carcan trop restrictif de la pathologie géographique que la géographie médicale obtint ses lettres de noblesse en devenant géographie de la santé. Simple évolution épistémologique ? Non, tournant radical ! En replaçant la maladie dans le cadre plus large de la santé, la géographie acquit une légitimité dans ce champ d'étude que les médecins avaient du mal à lui conférer. Il pourrait nous être reproché d'avoir trop privilégié la mise en lumière de l'influence des milieux physique et humain sur l'état de santé : la place qu'occupe l'étude des déterminants climatiques de la grippe dans le cadre de cette thèse explique pour une large part ce choix. Ainsi, la démarche revendiquée par la suite s'inscrira plutôt dans le cadre de l'écologie humaine de par son penchant systémique. S'il ne s'agira pas de proposer finalement le « complexe pathogène de la grippe » : la démarche écologique va tout de même prévaloir et le souci de distinguer l'hétérogénéité spatiale dans l'exposition à un risque grippal sera bien présent. Car là se situe peut-être l'originalité du sujet. En dépit d'une analyse finalement très pathologique, cette thèse abordera l'épidémie grippale saisonnière comme un risque au sens géographique du terme. Ce risque est la conjonction d'un aléa viral, dont nous pouvons supposer la présence continue même si des conditions préférentielles déterminent une meilleure conservation, et d'une double vulnérabilité. La vulnérabilité est d'abord physique : des conditions climatiques supposées génératrices de l'impulsion de départ épidémique, une configuration du territoire expliquant que les « finistères » ne peuvent être touchés en premier sont autant d'éléments « naturels » explicatifs de l'hétérogénéité spatiale constatée lors du départ épidémique. La vulnérabilité est également sociale : un niveau de connectivité plus ou moins élevés des territoires, un fort potentiel de rencontres journalières, une moins bonne éducation aux réflexes sanitaires basiques engendrent également des disparités territoriales. Ces vulnérabilités sont conjointes et affectent l'espace en même temps, néanmoins, il ne s'agit

pas d'une juxtaposition de paramètres mais bien d'un tout inter-relié qui ne peut être abordé que dans le cadre d'une démarche systémique. C'est cette complexité et cette multitude de paramètres qui justifient clairement la mention « géographie de la santé » de ce travail. L'étude écologique de la grippe sous-tend la prise en compte de nombreuses variables contextuelles. Finalement, l'aboutissement rêvé d'une telle entreprise est de présenter la signature spatiale d'un risque dont la vulnérabilité se situe à l'interface nature/société. Il convient dès lors de présenter l'originalité de l'étude de la grippe dans la vaste thématique du risque abordé du point de vue géographique.

II – Le risque grippal, un objet géographique

Il va être question, au sein de ce chapitre, de définir la grippe comme un risque. Pour ce faire, une réflexion sur le risque sera menée dans un premier temps avant de s'interroger sur les forces et les faiblesses de la vision « géographique » du risque appliquée au problème de santé publique que constituent les épidémies saisonnières de grippe en France métropolitaine. Il ne sera point question ici d'une réflexion sur les facteurs d'aléa ou de vulnérabilité rentrant en ligne de compte dans la thématique de la grippe mais bien d'un recadrage général sur l'objet « risque » et la manière dont il peut être appréhendé lorsque celui-ci est qualifié de « sanitaire ».

1- Le risque, un phénomène tant spatial que temporel

Un bref survol des ouvrages généralistes traitant de la notion de risque montrent que ceux-ci ont en commun, dès les premiers paragraphes, le terme « complexe ». La notion de risque est complexe, son analyse semble l'être tout autant. L'origine même du terme est toujours sujette à débat. Provient-il du latin *rixare*, du grec *rhizikon*, de l'arabe *risk* ? Ce mot désigne finalement un péril potentiel et sa perception mais indique également une situation que l'on perçoit comme dangereuse : situation volontairement vécue ou subie. La dimension historique dans l'analyse du risque semble, pour de nombreux auteurs, d'une importance capitale. Seul un recul historique permet de mettre en perspective les nouveaux risques. Si l'étude des grandes catastrophes historiques permet à nombre d'experts de cerner les rouages des risques majeurs, elle permet également de relativiser ces « nouveaux » risques ou « ré-émergents ». Rappelons, une nouvelle fois, que la Peste Noire décima entre 30% et 50% de la population de l'Europe de l'ouest tandis que les événements climatiques de la fin du XVII^e siècle, responsables de grandes famines, générèrent des pertes équivalentes en France à la première guerre mondiale sur une population française deux fois moins nombreuse (Le Roy Ladurie in Favier R. 2002). L'analyse historique du risque va également nous permettre de mieux comprendre les seuils actuels d'acceptabilité du risque qui passent par la perception de celui-ci. La « mise en mémoire » du risque n'est absolument pas neutre : il existe bel et bien un choix des événements retenus. Il est alors important de comprendre pourquoi le souvenir d'une catastrophe se perpétue ou au contraire disparaît : reflet peut-être de conséquences trop complexes ou embarrassantes. *De facto*, la catastrophe peut devenir un événement fédérateur,

voire un élément de la construction identitaire d'un territoire. A l'inverse, les puissants peuvent occulter un évènement majeur si celui-ci dessert leurs intérêts. Il est donc clair que le rapport au territoire à risque a varié dans le temps ainsi qu'en fonction des cultures : pour Bost (2003) la ville dès le XVIII^e et XIX^e devient un lieu de danger et de perdition tandis que la campagne véhicule des valeurs de sagesse, de stabilité et de travail. Cette conception négative de la ville perdure dans certains discours d'écologistes dénonçant le caractère artificiel de celle-ci et sa coupure avec la « Nature ». Dans les sociétés libérales, la prise de risque est motivée par un but qui peut être l'obtention de biens communs et/ou personnels auxquels l'on aspire : le terme revêt dès lors une connotation positive. Il demeure, dans cette prise de risque, une part d'incertitude qui relève du modèle du jeu (Ewald, Kessler ; 2000). En prenant l'exemple de la loterie les auteurs montrent que si acheter un coupon n'est pas en soit dangereux, cette action se traduit inexorablement, soit par une perte (résultant d'un mauvais choix), soit par un gain. Dès lors, le jeu comme source de perte confère au risque une dimension négative : prendre un risque devient synonyme d' « exposition à des pertes » plutôt que de « génération potentielle de gain ». Cette approche va peu à peu devenir prépondérante tant et si bien que le risque va s'exprimer en terme de dangers et de dommages potentiels. Giddens (1991) considère que sous cet angle, le risque possède une position centrale dans la société post-industrielle qui contribue à produire des dysfonctionnements et à sécréter des dangers. Ainsi, si le développement de la science et des techniques est à l'origine de progrès nettement perceptibles, s'il a contribué à améliorer la compréhension des aléas, il peut également être à l'origine de nouveaux risques qui pèsent sur nos sociétés. Ainsi, les risques sont omniprésents pour l'individu, la société civile, les décideurs et les politiques : ceci fait dire à Ewald (1996) que la politique aujourd'hui n'est plus que de la gestion des risques. Le risque va donc naître de la perception d'un danger ou d'une menace potentielle polymorphe et d'origines diverses que l'on nomme aléa. Cet aléa est ressenti par les individus, les sociétés et peut provoquer des dégâts aux personnes, aux biens et aux aménagements. C'est bien en aval de ce type d'évènement que peuvent se déclencher les crises. L'analyse des dégâts va renvoyer dès lors à ce que l'on nomme vulnérabilité. On définit alors le risque comme la représentation d'un danger ou aléa (réel ou supposé) affectant des enjeux reflet d'une vulnérabilité. La définition onusienne va clairement dans ce sens en formulant le risque par une équation :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Enjeux (Espace, Temps)}$$

Le risque se présente donc comme un aléa affectant des enjeux plus ou moins vulnérables sur un espace et dans un temps donnés. Ainsi, la notion de risque est indissociable des

composantes tant spatiales que temporelles. De même, le risque reste indissociable de la catastrophe.

1-1 Risque et catastrophe : deux concepts étroitement liés

Si les deux termes sont parfois confondus, ils renvoient finalement à deux réalités bien différentes. La catastrophe est réelle et mesurée par les montants remboursés pour les dégâts assurés qu'elle a occasionnés. *A contrario*, le risque relève du probable, de l'hypothétique : il demeure non réalisé. Pour Y. Veyret (2003), une catastrophe « *est un évènement brutal qui provoque des dommages aux personnes et aux biens. Au-delà de ces pertes, la catastrophe a une dimension psychologique, écologique et culturelle* ». Brutal ne doit pas être compris au sens de rapide, en effet, la catastrophe peut s'inscrire dans le durée. Y. Veyret rajoute que la catastrophe tient avant tout à la capacité de réaction du système concerné. *De facto*, il y a catastrophe lorsque les dommages causés par tel ou tel évènement dépassent les seuils de tolérance de la nature ou de la société. Cet évènement échappe à la domination des sociétés humaines et dépassent leur capacité à absorber une crise, un choc. Cette capacité, note l'auteur, peut tout aussi bien être technique, culturelle ou mentale. Ainsi, il existe une gradation du simple accident à la catastrophe. Notons que les seuils de tolérance ou d'acceptabilité de la catastrophe sont variables selon les époques, les sociétés et les individus. Il est évident de ce point de vue, par exemple, qu'une pandémie grippale engendrerait des taux de mortalité plus élevés dans les pays où les stocks de traitements antiviraux sont les plus faibles. Y. Veyret propose quatre éléments majeurs pour définir la catastrophe :

- la catastrophe est un évènement négatif.
- la catastrophe est un évènement extraordinaire. En ce sens, elle rompt avec le cours des choses. Il s'agit dès lors d'un évènement exceptionnel.
- la catastrophe est avant tout un évènement social. Les vents catabatiques descendant de l'Antarctique à plus de 300 km.h⁻¹ ne sont pas des catastrophes tandis que certains évènements sans conséquences matérielles directes sur les hommes ont pu être ressentis comme des catastrophes ou tout du moins génératrices de celles-ci. Ainsi, la comète qui fut observée à Paris en 1618 fut décrite comme ceci : « *La comète apporte grandes désolations, pestilences, guerres, famines et plusieurs autres malheurs, persécutions... apparus depuis peu. Cette terreur doit répandre son influence sur les nations étrangères, non sur les Français qui sont sous la très heureuse et assurée protection de Louis Le Juste,*

notre Roy ». Une comète serait également à l'origine de la victoire à Hastings des Normands (Fig. n°8).



Fig. n°8 : Détail de la tapisserie de Bayeux rappelant l'apparition de la comète de Halley en avril 1066 et l'invasion de l'Angleterre par Guillaume

Un évènement ne deviendra une catastrophe que s'il est perçu comme tel en dépit même de l'absence de conséquences matérielles visibles (Delécraz et Durussel 2007).

- la catastrophe est un évènement fédérateur. Elle va toucher un sous-système social qui se trouve définit par la catastrophe. Cet évènement peut s'intégrer dans la construction identitaire d'un territoire.

Dans le sens où la catastrophe crée une discontinuité dans l'ordre des choses, elle peut être pensée en terme de crise avec un avant, un pendant et un après. Malgré tout, ces définitions manquaient d'objectivité si ce n'est l'objectif final de remboursement des coûts. Ainsi, on a tenté de fixer des seuils quantitatifs à partir desquels le terme catastrophe pouvait être employé. La définition onusienne de la catastrophe équivaut à un nombre de décès supérieur à 30 directement générés par l'évènement : selon cette définition, l'explosion du réacteur de Tchernobyl en 1986 n'est pas une catastrophe... Des échelles aident également à mesurer la catastrophe mais la plupart du temps celles-ci s'attachent plus à quantifier l'intensité du phénomène à l'origine de la catastrophe plus que la catastrophe elle-même.

Le concept du risque est étroitement lié à la catastrophe. En effet, un risque existe lorsque des éléments matériels et/ou humains se retrouvent dans une situation de danger qui peut finalement aboutir à une catastrophe. Le risque va définir soit le risque de survenance de l'aléa soit le risque de catastrophe. Notons que la formalisation en concept scientifique de la notion de risque est finalement très récente. Il est étonnant de constater que le risque est absent de la législation jusque très récemment en dépit de sociétés contemporaines profondément marquées par un sentiment d'insécurité chronique. L'information sur l'aléa et sa définition mobilisent la mémoire des catastrophes. Quoi qu'il en soit, le risque doit être calculable, doit être l'objet d'une évaluation.

1-2 Deux visions du risque : sciences « dures » contre sciences « molles »

S'il existe bel et bien une définition qualitative du risque déterminée par le diptyque aléa-vulnérabilité, une logique opérationnelle pour partie nécessite un recours aux calculs probabilistes. Ainsi, dès lors que le calcul probabiliste atteint ses limites, la notion de risque perd ici de sa pertinence : la non prise en compte des aspects psychologiques et culturels du risque peut rendre inopérante toute une logique de gestion de crise. A Toulouse lors de l'explosion de l'usine AZF, les téléphones portables des familles en quête des nouvelles de leurs proches ont saturé les ondes si bien que les services de secours ne pouvaient plus communiquer entre eux... Un amalgame est souvent réalisé entre risque et danger (à titre d'exemple les Plans de Prévention des Risques en France correspondent en Suisse aux Plans d'Exposition au Danger. La directive dite Seveso 2 définit le danger comme « *la propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et/ou l'environnement* » et le risque comme « *la probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées* ». Un processus potentiellement dangereux est défini alors comme un risque pour les populations concernées à partir du moment où il est prévisible soit parce que l'aléa émet des signes précurseurs, soit en raison de la répétitivité du processus qui conduit à en établir la fréquence. En ce sens, les épidémies saisonnières de grippe peuvent bel et bien être qualifiées de risque du fait que l'aléa viral déferle bien sur la France métropolitaine selon une fréquence connue : la part d'inconnue relève ici essentiellement de la virulence de l'agent infectieux. L'information statistique occupe une place majeure dans la définition du risque, elle doit être fondée sur des données homogènes et fiables. Pour résumer, le risque lié à un danger est le produit des dégâts ou dommages causés par ce danger par la probabilité qu'ils se produisent :

Risque = dommage x fréquence

Deux risques de même valeur peuvent résulter d'un fonctionnement opposé, l'un dû à des dommages lourds mais exceptionnels, l'autre à des dommages plus légers mais aussi plus fréquents. De fait on peut comparer les 18 000 décès causés par les accidents domestiques chaque année en France (chiffres 2002) mais répétés chaque années avec un tsunami de l'amplitude de celui qui à frappé l'Indonésie en décembre 2004 (270 000 morts ou disparus). Évidemment, la brutalité de ce dernier marque plus facilement les esprits.

On constate alors qu'il existe bel et bien deux définitions complémentaire du risque : une définition purement statistique et une définition plus conceptuelle. Le risque comme donnée quantitative renvoie à un mode de traitement des évènements aléatoires qui fait intervenir les probabilités. Le risque renvoie à la mesure de l'incertitude : c'est cette définition qui prévaut dans le domaine de l'assurance. Le risque est alors synonyme de probabilité de dommages ou d'occurrence de l'aléa. Selon cette définition, le risque devient une donnée purement objective. Cette évaluation quantitative du risque a longtemps prévalu dans l'ensemble des travaux de la cyndinique (Kervern et Rubise 1991). Cette approche peut très bien être satisfaisante dans l'étude de l'aléa, elle rencontre ses limites pour la vulnérabilité. Généralement, on va quantifier la vulnérabilité en termes de pertes et dommages potentiels mais peut-on toujours la calculer ? Peut-on génériquement quantifier des dommages ? *De facto*, il existe une estimation subjective qui a fait l'objet de nombreux travaux en sciences sociales. Dans le cadre des sciences humaines et sociales, le risque dépend avant tout de celui qui le perçoit. Le risque est donc un construit social qui varie en fonction des individus voire des groupes et ce, dans le temps. L'approche culturelle du risque doit beaucoup aux travaux de Douglas et Wildavski (Douglas, Wildavski 1983, 2002) qui ont montré que notre perception, fruit de nos expériences, évolue en fonction de notre appartenance à tel ou tel groupe. Ainsi la hiérarchie des menaces n'est établie qu'à partir de certains systèmes de valeur, reflets de différentes formes d'organisations sociales. Douglas a alors systématisé la diversité des sociétés humaines par un classement par *grid* et *group*. Le *group* définit son identité en se comparant aux autres groupes, le *grid* renvoie à la structure interne du *group*, la répartition des tâches et des pouvoirs. Quatre pôles culturels résultent du croisement *group* et *grid* : la bureaucratie, l'entrepreneur, les enclaves et les exclus. Chaque pôle va adopter une stratégie différente en fonction de sa représentation du risque. Ainsi, les sciences sociales montrent que le risque ne se résume pas qu'à des données objectives issues de calculs de probabilités. Une distinction entre risque « réel » et risque « perçu » fut établie : notons que

les deux risques sont loin de coïncider dans tous les cas. Ajoutons afin de glisser vers la conclusion de ce paragraphe que l'analyse géographique se distingue de celles des autres sciences sociales. La géographie étudie en effet les différents acteurs et leurs modes de représentation du risque non pas en tant que tels mais en ce que ces représentations influent sur la territorialisation du risque et l'organisation spatiale (Veyret 2003). Ainsi, la géographie intervient dans l'étude des rapports des populations à l'espace à risque. Si le risque intéresse les géographes en tant qu'objet spatial, il les intéresse au moins autant en tant qu'espace approprié par un groupe social ou plusieurs. Le risque comme « objet spatial » nous permet de nous interroger sur l'étendue de l'agent générateur de danger tout comme sur la distribution spatiale des enjeux. De la même manière, la vulnérabilité n'est pas homogène sur un territoire : l'analyse géographique du risque conduit inévitablement à la spatialisation de celui-ci. En outre, si l'analyse de la dimension spatiale du risque est une priorité dans la grille de lecture du phénomène par les géographes, la dimension temporelle n'est en aucune manière oubliée. L'examen des temporalités comme évolution du milieu naturel ou reflet de l'histoire des sociétés est une composante essentielle dans les études de risques menées par les géographes. Il existe également un temps de la gestion de la catastrophe, discontinuité temporelle brutale. Il ne sera pas fait l'économie d'une analyse des temporalités intervenant dans l'étude de la grippe en France. Notons pour conclure que l'on a coutume en géographie de définir les grandes familles du risque en fonction de la nature du danger. On distingue généralement : les risques naturels, les risques technologiques ou industriels, les risques sociaux, le risque politique ou géopolitique, les risques économiques et enfin les risques sanitaires, épidémiologiques et alimentaires (au cœur du présent travail). Tous ces risques sont liés par le biais d'interactions complexes (fig. n°9 p.76) : une usine explose, l'environnement court un risque, l'économie liée à cette activité également, tout comme les individus qui dépendent de cette activité etc. ...

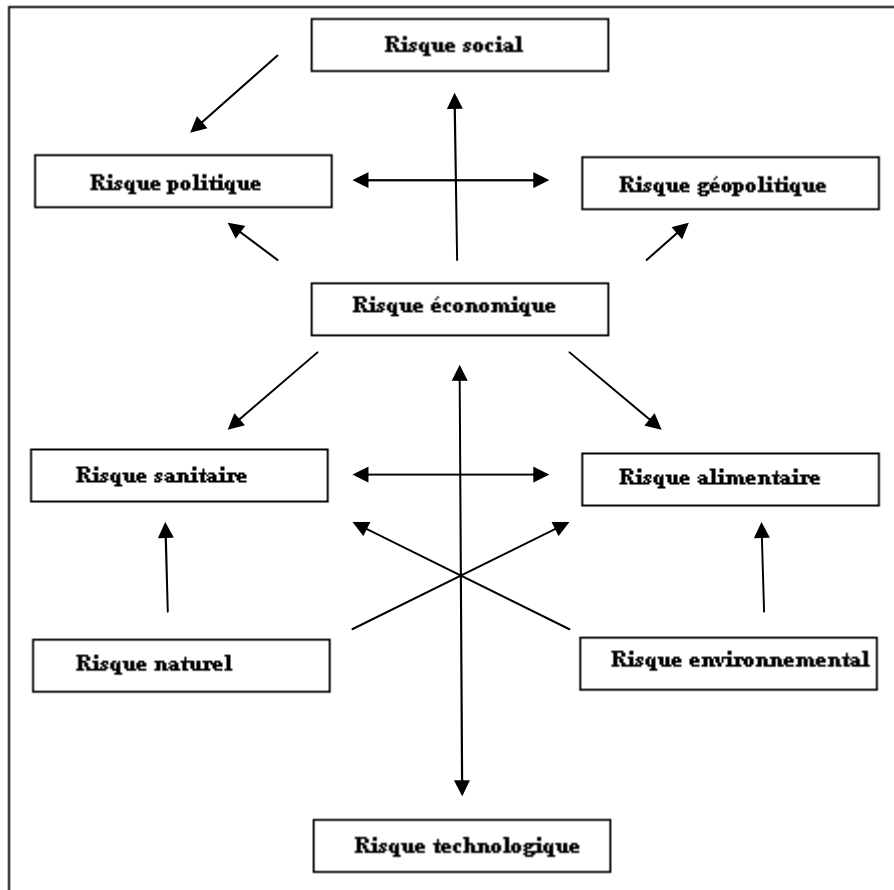


Fig. n°9 : Les différents types de risques et leurs interactions (Modifié de Veyret 2003)

Ainsi, la définition que nous retiendrons dans le cadre de cette étude sera la conjonction d'une menace potentielle et de l'exposition d'enjeux plus ou moins vulnérables. En d'autres termes, elle se réduira à l'équation du risque dans son acceptation la plus épurée : aléa + vulnérabilité = risque. Simple comme à l'accoutumée n'est en aucune manière synonyme de simpliste face à un risque sanitaire. L'aléa ne varie-t-il pas dans l'espace et dans le temps ? La vulnérabilité n'est-elle pas différente en fonction des territoires ? Ainsi, pour évaluer un risque, il convient vraiment d'opérer de lourds travaux dissociés d'abord sur l'aléa puis sur la vulnérabilité.

2 – Evaluer le risque

L'équation proposée, qui n'a aucune valeur « mathématique », est aujourd'hui la définition la plus consensuelle du risque. Elle signifie que le risque est le produit de la rencontre entre une source de danger et une société.

2-1 En calculant l'aléa

L'aléa est défini comme la source de danger. Il est défini par sa nature, sa fréquence et son intensité. L'aléa est un élément neutre : il n'est ni bon, ni mauvais. Mais, en présence d'enjeux, il peut constituer une menace. On notera du reste que, selon la façon dont une société fait face à l'aléa, selon son adaptation à celui-ci, il peut devenir une ressource (cf. l'aléa « crue du Nil » dans l'Égypte ancienne) : une sécheresse est négative pour un éleveur qui n'aura pas d'herbages à donner au bétail en hiver mais positive pour un vigneron qui pourra s'attendre à « une bonne année ». Le risque se situe à l'aval de l'aléa, lui-même analysable grâce à sa spécificité, à son mode d'intervention, à sa fréquence, à son intensité. Dans le cas des risques naturels, l'analyse des aléas est généralement effectuée en s'appuyant sur une quantification (débit d'un cours d'eau, vitesse du vent, magnitude et intensité d'un séisme). On travaille alors sur des événements de forte intensité qui ont marqué les populations et affecté le milieu, or, dans de telles conditions, les collectes de données sont bien souvent difficiles. Par exemple, lors d'un cyclone, l'anémomètre peut casser en raison de la violence des vents et la station météorologique est plus fréquemment endommagée. C'est le cas aussi lors de fortes pluies au cours desquelles le pluviomètre peut déborder plusieurs fois. Dans le cas d'une épidémie, les taux d'incidence ne seront que des extrapolations des cas détectés sur un espace et dans un temps donnés, les données de mortalité semblent alors être les plus fiables. Les valeurs obtenues relatives à l'intensité d'événements (aléas) anciens doivent servir à alimenter des modèles mathématiques de prévision. Se posent alors un certain nombre de questions dans le but d'exploiter ces valeurs : quelle marge d'erreur accepter, quelles valeurs seuils considérer comme représentatives de l'établissement de l'aléa à proprement parler ? Seuls des phénomènes déjà survenus peuvent être l'objet d'analyses précises. La prudence nécessaire dans le maniement des chiffres mesurés ou reconstitués s'illustre dans le difficile calcul de temps de retour des phénomènes de forte intensité, source de danger et donc potentiellement à risque. D'un point de vue méthodologique, il s'agit de traiter du temps de retour d'événements rares de forte intensité, de calculer le temps de retour d'un événement dont les caractéristiques dépassent une valeur seuil. Ainsi, en prenant l'exemple des cours d'eau, l'estimation d'un débit de crue de période de retour donnée est difficile. Un débit d'une période de retour de 2 ans (*i.e.* très fréquent) sur l'Hérault, au barrage de Moulin-Bernard (bassin de 1 090 km²) estimé à partir de la série 1962-1984 a 90 % de chance d'être compris entre 650 et 1 700 m³/s soit une incertitude de 50 %! (Bost et al. 2003). L'approche rationnelle de l'estimation des crues par voie mécanique ou statistique est donc encore très limitée. Ces calculs sont très

difficiles à conduire et à interpréter car s'entremêlent les difficultés liées aux données brutes d'une part, aux modèles mathématiques utilisés d'autre part et aux différentes approches réalisées pour effectuer des recoupements. Dans bien des cas, les experts ne fournissent ni les mêmes seuils ni les mêmes valeurs à partir de données pourtant identiques et cela parce que le jeu des variables employées n'est pas forcément le même. Toujours dans la thématique des crues, plusieurs éléments sont déterminants dans le calcul des temps de retour : certains de ces éléments sont parfaitement transposables dans l'analyse d'autres risques. Il y a tout d'abord l'échelle de travail, ainsi certains événements parfois jugés exceptionnels au niveau de la station de mesure deviennent des phénomènes courants à moyenne échelle. Notons également que les banques de données disponibles dépassent rarement le siècle, le plus souvent les séries statistiques chiffrées et fiables n'excèdent pas 25 ou 50 ans, et dans bien des cas les données ne sont pas compatibles entre elles. En raison de séries statistiques des débits souvent moins renseignées que celles des précipitations, il est nécessaire de modéliser la relation pluie/débit (ceci peut s'entendre pour bon nombre de relations observées dans d'autres thématiques : nous pensons par exemple ici aux taux de morbi/mortalité). Enfin, la loi statistique de référence entre aussi en ligne de compte. Ces lois sont validées par les données statistiques connues et permettent ensuite d'extrapoler, mais les lois sont plus ou moins adaptées aux différents types d'aléas. Les chiffres ne sont donc souvent que des indications qualitatives établies dans un but de comparaison mais ils sont parfois utilisés à des fins de classement et au-delà, de réglementations fixées à partir de valeurs seuils. La valeur chiffrée rassure, elle est perçue dans bien des cas, comme juste, certaine, voire indiscutable, ce qui contribue à accroître l'incompréhension et le doute des populations quand cette valeur est remise en question par des situations contraires vécues. Ainsi, l'évaluation des taux d'incidences de « l'aléa grippal » repose sur une approche probabiliste fondée sur l'évaluation quantitative des probabilités qu'une crise dépasse un certain seuil. Il nous est alors permis d'envisager une situation à risque lors du dépassement d'un certain seuil préalablement déterminé par des modèles. Ce type d'approche s'inscrit dans une logique de gestion socio-économique du risque mais ne nous permet pas de mettre en exergue une dynamique territoriale. S'il s'agit d'un préalable nécessaire dans notre analyse, ces valeurs seuil ne nous donnerons qu'une indication temporelle du déclenchement de l'aléa. Il est alors nécessaire d'expliquer les différents niveaux de l'aléa observé sur le territoire : la définition du risque dans son acceptation en sciences humaines prend alors toute sa valeur.

2-2 En analysant la vulnérabilité et les enjeux

Les enjeux sont définis comme éléments ou systèmes sous la menace d'aléas de sources variées (naturel, technologique, sociétal, économique voire politique) : il peut s'agir de populations, d'éléments analysables en termes économiques (voies de communication, usines...), ou de composantes environnementales (parc naturel, sites exceptionnels etc.). On distingue, de fait, les enjeux structurels (le bâti, les infrastructures de transport et de services, les arbres etc.) des enjeux non structurels qui recouvrent le patrimoine culturel immatériel. Les dommages qui peuvent affecter les enjeux amènent à s'interroger sur leur vulnérabilité. Celle-ci doit être définie avec précision car c'est elle qui, associée à l'aléa, constitue le fondement même du risque. Le concept de vulnérabilité est né de l'idée que l'aléa ne suffisait pas à comprendre la survenance de catastrophes. Un aléa d'intensité faible pouvait par exemple avoir des conséquences très graves dans certaines sociétés, alors qu'un autre aléa d'intensité beaucoup plus forte y avait des impacts négligeables. Un même aléa peut avoir dans des sociétés différentes des conséquences sans communes mesures (cyclones à Haïti ou aux USA). La première idée fut donc de définir la vulnérabilité comme le degré de pertes et de dommages consécutifs à la survenance de l'aléa. Dans un second temps, on comprend que ce degré de pertes est conditionné par l'exposition à la source de danger. La vulnérabilité est donc la susceptibilité de subir des pertes due à l'exposition à une source de menace : le degré d'exposition des enjeux. Il apparaît en effet que tous les enjeux ne sont pas exposés de la même façon à l'aléa. Un aléa donné varie en intensité selon les territoires, tout comme les enjeux ne sont pas également vulnérables en fonction des sociétés. La vulnérabilité se mesure par l'estimation des dommages potentiels pouvant affecter un enjeu. A. Dauphiné (2001) avance que la vulnérabilité « exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux », cette définition s'applique aussi à d'autres types de risques, notamment industriels et technologiques. Tout comme pour l'aléa, il existe plusieurs manières de concevoir la vulnérabilité. La vulnérabilité dite analytique conduit à décomposer les enjeux existants et à établir pour chacun une évaluation précise des dommages et cela pour différents niveaux d'aléas. Ces approches quantitatives complexes permettent de chiffrer le coût immédiat des dégâts ainsi que le coût de la reconstruction, à l'identique ou en intégrant des mesures de réduction de la vulnérabilité. On en est venu dans le secteur assurantiel à donner un prix à l'être humain : l'assurance d'un gros porteur assurant la liaison Londres-New York d'une lundi matin est bien plus chère que le même avion desservant deux villes d'Afrique sub-saharienne en semaine... D'autres façons existent pour traduire la vulnérabilité, comme

de déterminer des seuils d'endommagement, fonction de divers usages du sol et des types de bâti : en cas d'inondation, une maison construite avec un entre-sol n'offre pas le même degré de vulnérabilité qu'une maison sans entre-sol dont le rez-de-chaussée habitée sera entièrement soumise à l'aléa. Il est donc indispensable d'établir des cartes de vulnérabilité qui définissent l'occupation des sols et le niveau de vulnérabilité affecté à chaque type d'usage. Ce qui vaut ici pour le risque inondation s'applique à bon nombre d'autres risques. Chaque sous-groupe social sur un espace donné, de par le fonctionnement même du groupe (habitudes etc. ...) offrira un niveau d'exposition à la source de danger différent de celui d'un groupe voisin : il existe des vulnérabilités différentielles, le risque est territorialisé. La vulnérabilité met en jeu des aspects physiques, techniques, des données économiques, psychologiques, sociales, politiques. Des facteurs socio-économiques augmentent souvent la vulnérabilité des populations menacées. Il fut démontré dans bien des cas que la vulnérabilité des populations est accrue par la méconnaissance générale des moyens de protection. Dans ces cas l'absence d'une éducation aux risques (et parfois d'une mise en mémoire) capable de réduire la vulnérabilité est en question. Ainsi être vulnérable, c'est être physiquement exposé à un aléa (naturel ou autre), c'est présenter une fragilité face au sinistre (en raison par exemple d'une mauvaise qualité des constructions, d'une méconnaissance de l'aléa, de fortes densités humaines...) et c'est également ne pas envisager les moyens disponibles pour faire face à la crise qui peut survenir. Or, dans de nombreux cas, l'absence de préparation de la population est la règle. L'accessibilité de certains quartiers par les moyens de secours demeure insuffisante. Réduire la vulnérabilité ne consiste pas à tenter de réduire la fréquence de l'aléa, ce qui pour les aléas naturels est tout à fait impossible, mais à diminuer les effets possibles de la crise par la connaissance des processus mis en jeu.

Dans le cadre de cette thèse, si l'on conçoit assez bien l'agent pathogène comme étant l'aléa, la vulnérabilité est plus difficile à cerner. Plus que la vulnérabilité, ce sont les vulnérabilités et même les facteurs de vulnérabilité qu'il conviendra d'apprécier : mais parle-t-on de la vulnérabilité d'un individu face à la grippe ? D'un sous-groupe distingué par son mode de vie, son âge ? De la société toute entière ? Ce sont ces questions auxquelles il faudra répondre dès lors que nous souhaiterons nous interroger sur des inégalités d'exposition au virus grippal. Les facteurs qui permettent d'estimer la vulnérabilité sont nombreux. Ils doivent être classés selon leur importance, à une échelle choisie avec soin en fonctions des lieux et de la précision des données disponibles. Ils peuvent ensuite être pondérés afin d'obtenir une valeur de vulnérabilité par unité de surface définie. Il conviendra enfin de garder à l'esprit que La vulnérabilité varie dans l'espace aussi bien que dans le temps, notamment en ville : a-t-on plus

de chance de contracter une grippe aux heures de pointe dans les transports qu'à 2 heures du matin sous la couette... ? On l'a désormais bien compris, comme énoncé en préambule, la notion de risque est complexe et l'analyse de ses composantes « aléa » et « vulnérabilité » doit être menée avec précaution. S'il existe une multitude de risque, c'est évidemment les risques dits « sanitaires » qui nous intéressent le plus dans le cas de cette thèse.

3 - Qu'est ce qu'un risque sanitaire ?

L'OMS (2002) rappelle qu'un risque sanitaire désigne « la probabilité d'un événement sanitaire défavorable ou un facteur qui augmente cette probabilité ». L'événement sanitaire défavorable est une affection, abstraction faite de ses causes, par exemple une grippe ou une angine. Le facteur augmentant la probabilité est un élément jouant un rôle dans le déclenchement ou l'évolution d'une réaction, d'une maladie ou d'un phénomène quelconque, associé par exemple à une incidence accrue de la maladie considérée. Il peut s'agir d'une habitude de vie, d'un état physiologique ou pathologique. Le facteur de risque est distinct de la cause de la maladie. J.M. Amat Rose²¹ (2005) rappelle par exemple qu'un infarctus du myocarde est un événement sanitaire défavorable dû à une nécrose d'une partie du muscle cardiaque privée d'apport sanguin, presque toujours à la suite de la formation d'un caillot au sein d'une artère coronaire. Le facteur de risque est ici l'association du tabac, du diabète et le fait d'être de sexe masculin. Le même type de raisonnement peut également prévaloir en parlant de la grippe. La grippe est un événement sanitaire défavorable dû à l'intrusion d'un *myxovirus influenzae* A, B ou C au sein d'un organisme vulnérable. Eu égard à la simple lecture des taux de mortalité de la grippe, il semblerait que la vieillesse constitue un facteur de risque. En fait, derrière chaque affection se cache une multitude de facteurs de risque. Deux grands thématiques semblent structurer les différents facteurs de risque : le rôle des comportements humains et celui de la « nature ».

3-1 Comportements humains et modes de vie : les facteurs prépondérants du risque sanitaire

Tout individu, où qu'il soit, est exposé durant son existence à un nombre presque illimité de risques pour sa santé : maladies transmissibles ou non, traumatismes, effets de produits de consommation, d'actes de violence ou de catastrophes naturelles. Ce sont les pays pauvres et

²¹ In Wackermann et al. 2004

les pauvres de toute société qui supportent la charge la plus lourde en terme de risques sanitaires. On distingue généralement trois natures différentes de risques sanitaires :

- les risques de nature génétique. Ce sont des risques propres à l'individu que l'on qualifie d'endogène.
- les risques naturels. En fait, consécutivement à un aléa naturel peut survenir une catastrophe sanitaire. On pense ici notamment aux épidémies de choléra observées après de grandes inondations ou des séismes.
- les risques anthropiques. Ils sont liés aux conditions de vie, à l'organisation de la société, aux modes de vie et aux comportements (urbain/rural, habitudes de consommation...), au niveau de vie, aux politiques de santé.

La difficulté dans l'analyse du risque dit sanitaire est liée aux interactions entre les facteurs de risque. J.M. Amat Rose affirme en ce sens que *« l'état de santé d'un individu ou d'une société résulte d'un système multifactoriel complexe ; il exprime une combinaison de facteurs de risque à un moment donné et en un lieu donné. La multitude de combinaisons possibles des facteurs explique les disparités de santé observées »*.

L'OMS hiérarchise les facteurs influençant la santé. Il ressort selon un rapport de l'organisation de 2002 que le mode de vie influence nettement la santé à hauteur de 43%. L'OMS a évalué les facteurs de risque pour la santé afin que les États considèrent les plus importants à l'heure actuelle. Le résultat est alarmant et montre que, plus que les conditions de vie, ce sont les évolutions des modes de vie qui menacent la santé des populations. L'OMS a identifié dix facteurs de risques principaux sur la base du nombre total de décès ainsi que de la morbidité qui leur sont imputables quand cela est possible. Ressortent par ordre d'importance : la sous-alimentation, les pratiques sexuelles dangereuses, l'hypertension artérielle, le tabagisme, l'alcoolisme, l'utilisation d'eau non-potable, la carence en fer, la fumée de combustibles solides à l'intérieur des habitations, l'hyper-cholestérolémie et l'obésité. Les facteurs susmentionnés sont responsables de plus d'un tiers de décès dans le monde ce qui permet à l'OMS d'aboutir à ce funeste constat : une globalisation des risques sanitaires en liaison avec l'évolution des modes de vie. Ainsi, la connaissance des causes des maladies, des facteurs qui peuvent les expliquer et de leurs géographies mettent donc en lumière deux évolutions inquiétantes : le rôle des comportements humains et la mondialisation de certains comportements dangereux pour la santé. En une cinquantaine d'années, le monde est passé d'un schéma à deux grands types épidémiologiques à une situation beaucoup plus confuse où s'entremêlent les facteurs de risque. Il y a à peine une

génération, nous avons d'un côté le type des pays industrialisés, caractérisé par le recul des maladies infectieuses (moins de 2 % des causes de décès) et la prédominance des maladies circulatoires et des cancers. De l'autre celui des pays en développement dont l'accroissement de la longévité des populations était conditionné avant tout par le contrôle des maladies infectieuses. En très peu de temps, les affections chroniques (hypercholestérolémie, diabète etc.) des pays industrialisés se sont affirmés dans les pays en développement générant une situation beaucoup plus trouble qu'auparavant. En conséquence, ces mêmes pays se voient « sanitairelement attaqués » de toutes parts. Il est étrange de constater finalement une évolution contraire des causes de mortalité entre les pays dits développés et ceux dits en développement. Après avoir cru anéantir les maladies infectieuses, les pays développés voient celles-ci revenir nettement. Ils mesurent alors toute leur vulnérabilité en l'absence de riposte médicamenteuse connue : il suffit pour s'en convaincre d'observer l'attitude des gouvernements face à une menace de pandémie grippale. Combien de boîtes de *Tamiflu* furent commandées par l'Etat français alors même que l'efficacité du produit est sujette à controverse ?... Les pays en développement sortent, exception faite de l'Afrique noire, du fléau infectieux. Ils vont devoir se battre contre des facteurs de risque liés au comportement qui, s'ils ne leur étaient pas étrangers, restaient marginaux. Où que l'on soit aujourd'hui les problèmes de santé n'ont jamais été aussi divers parce que les facteurs de risque pour la santé humaine n'ont jamais eux-mêmes été aussi variés.

L'évolution de la mobilité joue également un rôle d'une importance fondamentale dans l'accroissement des facteurs de risque. « *Mobilité et risques sanitaires entretiennent un dialogue très ancien. Durant fort longtemps, mobilité et risques sanitaires furent associés au mot « lenteur » tant que les déplacements se firent au rythme du pas de l'homme ou du cheval. A la fin du XIX^e siècle, la nette accélération des moyens de transport modifient clairement les relations entre mobilité et risque* ». L'avènement des transports aériens bouleverse les relations entre espace-temps et risques. Les hommes, avec eux les germes pathogènes, parcourent le monde à une vitesse quasi-supersonique. Le ciel se transforme alors en une véritable autoroute à microbes grâce à l'avion le plus redoutable agent potentiel de diffusion des germes (Amat Rose 2005). Des germes, à l'origine très localisés, peuvent ainsi traverser des océans en quelques heures et contaminer une population réceptive qui jusqu'alors était hors d'atteinte. Rappelons l'intrusion de la dernière pandémie de choléra en Amérique du Sud. En janvier 1991 un bateau battant pavillon indonésien vidange son eau de lestage dans le port de Chimbote au Pérou : celle-ci contient une forte charge de vibrions. L'Amérique avait oublié le choléra. Une épidémie démarre et se propage très rapidement. Huit

États d'Amérique du Sud déclarent des cas dès 1991 et en moins de trois ans tous les États de l'Amérique latine ont enregistré des cas. Les répercussions sont restées mineures dans les pays où les capacités de riposte sont efficaces. En revanche, l'endémie est solidement implantée, non seulement dans ses foyers traditionnels d'Inde et d'Asie du Sud-est mais aussi également en Afrique. Souvenons-nous plus récemment de l'épidémie de SRAS (syndrome respiratoire aigu sévère). L'OMS a lancé en mars 2003 un bulletin d'alerte mondiale contre cette pneumonie atypique. Les premiers cas seraient apparus en Chine en novembre 2002 chez des vendeurs d'animaux sauvages dans des villes du Guangdong. Le coronavirus à l'origine de la maladie a été retrouvé chez la civette possible réservoir. L'institut Pasteur (www.Pasteur.fr) rappelle que « *Le SRAS, au départ nommé pneumopathie atypique, est caractérisé par une fièvre élevée (>38°C), associée à un ou plusieurs symptômes respiratoires : toux sèche, essoufflement, difficultés respiratoires. D'autres symptômes peuvent être constatés comme des maux de tête, des douleurs musculaires, des diarrhées et un malaise général. La durée d'incubation ne dépasse généralement pas 10 jours* ». L'OMS considère que le taux de létalité global est de 15% et peut dépasser 50% chez les personnes de plus de 65 ans. Le SRAS s'est vite avéré être transmis d'homme à homme par des gouttelettes de salive contaminées. Il s'est rapidement propagé le long des voies internationales de transport aérien (les flambées les plus importantes furent observées dans les plaques tournantes du transport aérien ou dans des zones à fortes densités de population). La promiscuité urbaine a clairement favorisé la diffusion du germe. Au 5 juin 2003, l'épidémie avait tué 777 personnes et 8 408 cas avaient été recensés dans 29 pays. Pensons enfin aux épidémies de grippe qui se propagent également extrêmement vite et proposent des taux de morbidité autrement plus élevés parce que la banalité (du fait peut-être de sa saisonnalité) ne nous pousse pas à la mobilisation internationale comme ce fut le cas pour le SRAS (même si des mesures préventives comme la vaccination sont prises dans les pays les plus riches). En effet, si le SRAS a pu être endigué si vite c'est par une mobilisation sans précédent de la communauté internationale en instaurant des mesures d'isolement et de quarantaine. Mais qu'en serait-il demain si une souche virulente de grippe venait à transiter ? Notre capacité de réaction serait-elle aussi rapide et efficace ? Il est ainsi évident que l'évolution des modes de vie nous a rendus plus vulnérables. Si l'évolution des sciences et des techniques a permis des progrès sans précédent en matière pharmaceutique et de médecine préventive, l'augmentation de la mobilité et l'évolution des modes de vie ont apporté des maladies « lointaines » et générés de nouveaux facteurs de risques. Ainsi, l'homme joue un rôle important dans l'augmentation des facteurs de risque mais c'est sans compter sur la « Nature » qui, elle-aussi, joue sur les risques sanitaires.

3-2 Le rôle du milieu naturel

Il n'est point question d'aborder ici les risques naturels à proprement parler mais d'analyser les biotopes nécessaires au développement d'agents pathogènes pour l'homme. La géographie de maintes maladies notamment parasitaires est la traduction dans l'espace de systèmes pathogènes formés de deux ou trois composantes : l'agent pathogène, l'hôte et le/les vecteur(s) potentiels. Chacune de ces composantes a ses exigences, est plus ou moins sensible vis-à-vis de l'environnement. Deux familles de variables environnementales se combinent. Les unes relèvent des caractères des biotopes et des biocénoses, les autres de caractères directement anthropiques : événements politiques, contexte économique, social ou culturels, modes et niveaux de vie. La juxtaposition des caractéristiques de chacune des variables autorise la transmission de l'agent pathogène dans une aire de transmission déterminée : l'aire pathogène. Le nombre de facteurs, enjeu et de combinaisons possibles, explique les disparités spatiales et sociales observées. L'exemple du complexe paludéen précédemment énoncé exprime pleinement l'imbrication de variables environnementales et de facteurs de risques plus sociaux. En effet, les maladies à transmission vectorielle (on entend par là les maladies passant à l'homme pour l'intermédiaire d'un animal, le plus souvent le moustique) représentent les systèmes les plus sensibles au caractère du biotope. Le caractère des eaux doit correspondre aux exigences du vecteur (on pense bien sûr au moustique). La température peut également jouer le rôle de facteur limitant : certaines affections ne se déclenchent qu'en deçà ou au dessus de valeurs seuils de températures. Ainsi, les régimes climatiques semblent souvent imprimer un cadre à nombre d'affection. Un cadre spatial d'abord parce notre planète est faite d'une mosaïque de climat : une affection équatoriale qui s'appuie sur des caractéristiques du milieu ne pourra pas se développer sous un climat polaire par exemple. Un cadre temporel ensuite parce que les conditions optimales de pérennisation de l'affection peuvent apparaître puis disparaître au gré des saisons. Imaginons une maladie à vecteur dépendant notamment de l'abondance d'eaux stagnantes essentielles pour la prolifération des moustiques. Les conditions climatiques en milieu équatorial sont telles que la chaîne de transmission est pérenne. Le corollaire est que l'organisme crée en quelques années un système de défense. En milieu tropical à saisons alternées, la transmission propose des alternances saisonnières importantes en liaison avec l'abondance des moustiques elle-même nettement supérieure en saison humide. Dans ce contexte, on comprend que l'organisme

mette plus de temps pour développer des stratégies de défense immunitaire. Des relations d'ordre temporel existent pour de nombreuses maladies : nous pensons par exemple aux épidémies de méningites au sahel en saison sèche. Cette saisonnalité n'est-elle pas également la règle lorsque l'on parle de la grippe ? Malgré tout, et nous n'avons cesse de le répéter, les caractères du milieu naturel constituent souvent une condition nécessaire mais généralement non suffisante pour le développement des maladies. Afin de comprendre la prévalence d'une maladie, il est nécessaire d'introduire l'ensemble des variables interférant dans le système pathogène.

Ainsi le climat permet souvent (mais en partie) d'expliquer l'extension d'un certain nombre de maladies. On comprend mieux dès lors l'exacerbation des angoisses face au changement climatique et les inquiétudes que celui-ci génère. Il est désormais acquis que le climat se réchauffe. Les bouleversements attendus pourraient menacer l'équilibre tant naturel que sociétal. Les températures pourraient augmenter d'environ 2°C d'ici 2100 (la fourchette se situe entre 1,5°C et 6°C pour le scénario du GIEC le plus pessimiste). Une telle évolution pourrait présenter des risques pour la santé humaine dans certaines régions. On pense de prime abord à la multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes (cyclones, pluies torrentielles aboutissant à des inondations etc.) responsables de traumatismes voire de décès, aux sécheresses responsables de famines ou encore aux vagues de froid ou de chaleur génératrices de déshydratations ou de maladies cardio-respiratoires. Besancenot (2007) revient dans *Notre santé à l'épreuve du changement climatique* sur la « menace sanitaire » générée par le changement climatique. Il note néanmoins que la santé est une grande absente des modélisations sur les conséquences du changement climatique parce que la notion d'adaptation est difficile à introduire dans les modèles car elle est complexe: physiologique, technologique, comportemental. Par exemple, au bout de dix ans environ, les individus s'adaptent aux nouvelles conditions climatiques du lieu où ils vivent. C'est avec 41°C à Séville et seulement 27°C à Bruxelles, qu'un résident commence à ressentir les premiers signes de «coup de chaleur». Le climat et le temps météorologique n'agissent pas mécaniquement sur les hommes sans référence aux pratiques culturelles, aux conditions économiques et techniques...e changement climatique ne s'exprime dans un territoire qu'au travers de ces déterminants socio-économiques, démographiques, culturels. Il ne suffit donc pas d'accumuler les connaissances, il faut en tirer les conséquences et apprendre à vivre avec «le nouveau climat». Notons en aparté que si des méfaits accompagneront sans doute un possible réchauffement climatique, des régions pourraient malgré tout connaître des bénéfices : pensons à des secteurs arides pour lesquels la redistribution des masses d'air va

apporter des précipitations permettant l'installation d'une agriculture vivrière... Parler de réchauffement climatique par le biais de l'augmentation des phénomènes extrêmes est courant mais peu correspondre, et c'est le cas pour les risques sanitaires, à la partie émergée de l'iceberg. L'effet principal d'une évolution des températures sur les risques sanitaires est moins spectaculaire mais beaucoup plus important : une redistribution de la carte des maladies. Les effets du réchauffement pourraient faire émerger de nouveaux équilibres du monde vivant qui se traduiront par des expansions ou des contractions des biotopes de certaines espèces au profit ou aux dépens de la santé de l'homme. Sont particulièrement concernées les maladies à transmission vectorielle. Le réchauffement dessinerait une nouvelle géographie des insectes vecteurs dont le potentiel de conquête spatiale est limité par des températures jusqu'alors inadéquates. Malgré tout, devant ce tableau J.P Besancenot (1992) rappelle que les relations entre les variations climatiques et la santé sont modulées à l'infini par le contexte économique, social, culturel et le niveau de développement. Les effets d'un aléa dépendent une nouvelle fois, et les risques sanitaires ne font pas exception, de la vulnérabilité des sociétés touchées. Rappelons que les sociétés humaines ne proposent pas les mêmes perspectives de survie et qu'en 2007 un japonais vit en moyenne 42 ans de plus qu'un angolais.

4 - Et l'épidémie dans tout cela ?

Parmi les risques sanitaires, le risque épidémique tient évidemment une place particulière. Nous ne rentrerons pas ici dans un développement sur l'épidémiologie de la grippe mais plus dans une définition conceptuelle de ce que l'on nomme épidémie. On parle d'épidémie lorsque l'on observe l'augmentation rapide de l'incidence d'une pathologie en un lieu donné sur un moment donné, sans forcément comporter une notion de contagiosité ; en pratique, ce terme est très souvent utilisé à propos d'une maladie infectieuse contagieuse.

4-1 Le principe de l'épidémie : la contagion

La propagation d'un mal résulte bien souvent de la perméabilité d'une barrière. La frontière stoppe l'envahisseur, le *firewall* bloque le virus informatique, derme et épiderme bloquent les rayons ultraviolets etc. ... C'est bien lorsque l'on de ces murs de protection cède que l'agent malfaisant passe. La contagion exprime finalement l'effondrement de ces barrières. Il ne s'agit pas tant d'un réel effondrement de la barrière mais plus d'une inadaptation face à des

menaces qui n'avaient pas été prévues ou négligées : combien de virus informatiques pénètrent des systèmes théoriquement protégés ? Combien de personnes contractent une grippe bien qu'elles furent vaccinées ? Dans un autre registre, la Ligne Maginot n'a-t-elle point été franchie ? Plus la catastrophe est plausible, moins elle est négligée. Le principe de l'épidémie résulte de la logique de contagion en tant que mode de propagation par contact, celle-ci pouvant véhiculer des éléments aussi bien nocifs que bénéfiques. Or, quand un porteur transmet un élément contagieux à un autre porteur, il ne s'en débarrasse pas pour autant ; d'où la potentialité épidémique de la contagion. L'épidémie désigne aussi, étymologiquement, le mal qui circule sur un pays (au sens du territoire habité), à l'intérieur des frontières ou plus simplement dans un espace circonscrit. En effet, les foyers épidémiques anciens, et c'est le cas pour les pathologies virales « classiques », étaient relativement cantonnés dans certaines limites qui semblaient d'autant plus maîtrisables que le territoire était rural. « *C'est l'invention de l'urbanité moderne et l'expérience des épidémies de peste au Moyen Âge qui ont contribué à forger notre culture et notre mémoire collective modernes de l'épidémie* » rappelle Dupont (2003). C'est notamment à partir de cette mémoire collective, dans laquelle l'épidémie - ou le risque de contagion - rime avec exclusion voire enfermement, que vont se constituer de nouvelles figures de la culpabilité au travers de l'émergence de boucs émissaires. La simple évocation d'une possibilité de contact avec la souillure, de promiscuité culturelle voire de diffusion idéologique suffit à provoquer une réaction de repli sur soi identitaire bien souvent territorial. Les réactions sécuritaires ne sont que le reflet d'un nouvel ordre social qui tend à émaner des nouvelles formes de gestion des risques liées à un l'état d'alerte permanent face aux menaces épidémiques dans lequel nous sommes entrés. Dupont prend alors l'exemple parlant de la vache folle. Cette crise a généré la production instantanée d'un imaginaire collectif, sans que pour autant les faits viennent justifier de telles prises de position. « *En effet, il n'est aucune comparaison possible entre la réalité épidémiologique de la maladie de Creutzfeld-Jacob en France et le déploiement spontané de slogans qui pouvaient se résumer par « Mangeons français ! » : mangeons les produits sains du pays et renvoyons la viande contaminée d'où elle provient, à l'étranger. Au discours politique global, fondé à la fois sur des impératifs de santé publique et sur ceux du commerce extérieur, fait écho localement l'organisation d'une résistance identitaire caractéristique d'une crise (les frontières et des limites, c'est-à-dire d'une volonté de ré-enracinement exprimée au niveau local* ». D'un côté, on nota une réaction de certains éleveurs français à l'encontre des agriculteurs anglais tenus pour « responsables » de l'autre, la désignation d'un mode de production agricole industriel devenu non maîtrisable qui nous renvoie à la faiblesse

de nos *process* et à la superficialité du « progrès ». L'activation de la peur engendre des effets sociaux, autant que la réalité ou la menace lorsqu'elle existe. Il ne saurait être question de réduire la menace à sa seule forme matérielle ou physique, et matériellement calculable. Il s'agit plutôt de considérer comme menace tout ce qui est susceptible de mettre en péril nos différents systèmes. De fait, l'épidémie comme tout risque, ne peut être appréhendé que sous sa forme « scientifique » mais doit évidemment intégrer sa forme « anthropologique » : il est nécessaire d'intégrer l'imaginaire social, un contexte historique et économique particulier et l'ensemble des facteurs que l'on classe habituellement sous le terme de Culture.

4-2 Observer et étudier les épidémies

Etymologiquement, épidémiologie signifie « science de ce qui s'abat sur le peuple ». Hippocrate, inventeur de la médecine épidémiologique a créé ce terme médical afin de mettre en relation des maladies et de leurs causes environnementales, qu'elles soient alimentaires, culturelles, climatiques voire politiques. L'épidémiologie est une science de l'observation, dont le sujet n'est pas l'individu mais la collectivité, et qui repose intrinsèquement sur un raisonnement sous incertitude d'où un recours quasi-systématique aux probabilités. En ce sens, l'épidémiologie se rapproche, dans l'appréhension des enjeux de cette discipline, des concepts, des thématiques et des méthodes de l'analyse des risques en sciences « dures ». L'épidémiologie désigne généralement l'étude de la fréquence et de la répartition, dans l'espace et dans le temps, des problèmes de santé affectant les populations humaines, ainsi que du rôle des facteurs qui les déterminent. Ainsi, la discipline se charge d'évaluer des probabilités d'occurrence de vagues épidémiques liées à des maladies voire d'envisager les secteurs potentiellement touchés : cette approche probabiliste que nous venons d'évoquer quelques lignes plus tôt. La naissance de l'épidémiologie moderne reste l'étape ultime de l'entrée de l'épidémiologie dans le champ de la science avec la formulation d'hypothèses, la création de méthodes de recherche et l'appui des études sur des techniques statistiques particulières. L'épidémiologie va progressivement élargir son champ d'action au XX^e siècle, pour s'intéresser à l'ensemble des maladies transmissibles ou non. Aujourd'hui, l'épidémiologie étudie l'ensemble des faits de santé et des états intermédiaires entre l'état de santé et l'état de maladie. Depuis les années 1950, cette science a connu de beaux succès (telle la liaison causale entre le tabagisme et le cancer du poumon) et a su faire évoluer ses outils d'investigation et d'analyse. De fait, l'état de santé d'une population ne saurait être perçu comme un tout homogène sur l'ensemble d'un groupe. Des distinctions peuvent réellement être

réalisées entre des sous-groupes différenciés en fonction de pratiques sociales, culturelles etc. En considérant l'épidémie comme un aléa, il convient de mettre en évidence des facteurs de risques, d'envisager les éléments qui peuvent accroître la vulnérabilité. On comprend alors que la vision probabiliste très qualitative de l'épidémiologie devrait être complétée par (et non pas se substituer à) une approche plus humaine dans laquelle l'analyse des populations vise à comprendre les différences d'incidence observées sur le territoire et éventuellement entrevoir la répartition de futures vagues épidémiques. Dans une logique d'analyse des facteurs de risque tant sociaux qu'environnementaux et leur spatialisation : le géographe a toute sa place. Au cœur de tous les travaux de l'épidémiologie se trouve le concept de risque et de facteurs de risque. Le risque est bien le concept central de cette science. Le facteur de risque est une caractéristique associée à une probabilité plus élevée (ou plus faible) de survenue d'un événement. Il peut s'agir d'une condition physiologique (sexe, âge, patrimoine génétique...) d'une pathologie (hyperlipémie, diabète...), d'une habitude de vie (tabac, alcool, alimentation...) d'un environnement spécifique (conditions et expositions au travail, conditions et expositions dans la vie...) ou d'une caractéristique socio-démographique (profession, statut matrimonial, revenu...). Certaines de ces conditions, habitudes ou caractéristiques peuvent être surreprésentés au sein de territoires donnés : ceci conduit à réaliser des différenciations géographiques de probabilité de survenue de l'évènement. Il ne saurait, au terme d'une étude géographique, être question de dire que tel territoire sera touché 2 fois plus que celui-ci mais d'établir une grille de lecture des facteurs de risque et de déterminer les territoires potentiellement les plus vulnérables. La définition du facteur de risque est, elle aussi, purement statistique et ne préjuge pas du rôle causal ou non du facteur en question. Surtout, au-delà de garanties techniques et statistiques, nécessaires mais non suffisantes, le jugement final d'une relation de cause à effet relève de l'interprétation, de la synthèse, de l'intégration de nombreuses données d'origines différentes.

Ainsi l'épidémiologie approche ses limites, principalement parce que les événements étudiés sont soit rares, soit associés à une longue période de latence, soit les deux, que les populations réellement exposées sont difficiles à définir et à suivre, que le risque associé à une exposition environnementale est en général faible (d'autant qu'on observe une volonté de mettre toutes les causes des maux actuels à la « nature » cf. changement climatique), nécessitant des populations importantes pour être mis en évidence enfin que la multifactorialité des événements observés est très rarement prise en compte.

Conclusion partielle

Finalement, les définitions du risque présentées sont complémentaires. Il n'y a pas primauté de l'une ou l'autre des visions : juste une grande complémentarité. En sociologie, a-t-on fait disparaître l'analyse qualitative des entretiens au profit de l'analyse quantitative des questionnaires ? Evidemment non, les deux démarches répondent à des besoins différents. De la même manière, la vision probabiliste du risque ne saurait se substituer à une approche qualitative plus axée sur la détermination de facteurs de vulnérabilité que sur la probabilité d'occurrence de l'aléa. Une finalité cartographique pourrait très bien être produite par les deux approches mais la vision aléa-vulnérabilité permet d'envisager des différenciations territoriales en termes de vulnérabilité et implique l'analyse spatiale (et donc la géographie) dans la recherche des causes de ces différences.

En outre, si la grippe est un objet géographique pouvant être lu au travers de l'aléa et de la vulnérabilité, l'épidémie correspond également à une situation de crise dont la gestion s'effectue selon des modalités quasi-normées : prévention/précaution en amont, gestion intrinsèque de la crise puis expertise permettant le retour d'expérience. Appliqué à la grippe, il est aisé de percevoir les éléments mis en œuvre pour chacun de ces chaînons. La prévention s'effectue par le biais de gestes simples à effectuer afin de minimiser les risques de transmission (mouchoirs à usage unique, lavage fréquent des mains etc.) : ces conduites visant à se prémunir de l'infection sont relayés par les médias (ceci est particulièrement visible en ce moment : grippe A/H1N1 oblige). La précaution s'effectue par la vaccination massive d'une classe d'âge : le vaccin est gratuit pour les plus de 65 ans, pour les personnes atteintes de certaines maladies chroniques (diabète type 1 et 2, asthme, VIH etc...) et enfin certains enfants et adolescents nécessitant un traitement prolongé d'acide acétylsalicylique. La gestion intrinsèque de la crise peut engendrer l'ouverture de lits supplémentaires dans les hôpitaux, coordonne l'approvisionnement en médicament, oriente les patients vers les structures adaptées (médecins généralistes, hôpitaux). Elle peut même aboutir à la création d'un plan national dans le cadre de la gestion d'une pandémie avec une réponse adaptée à chaque niveau de crise. Une fois la crise passée, une analyse de l'efficacité de chacune des réponses proposées permet le retour d'expérience et améliore à terme les conduites à tenir pendant et avant la crise. En outre, les données recueillies durant l'épidémie alimentent des modèles qui prennent en compte tous les nouveaux paramètres et permettent une meilleure prévision des

crises futures. C'est précisément la collecte de ces données passées et actuelles qui permet au réseau Sentinelles d'évaluer le seuil épidémique et la taille des épidémies à venir.

Observer des différences d'exposition au risque suppose de s'appuyer sur des données épidémiologiques fiables, continues et d'échelles infra-nationales. Les données épidémiologiques proviennent du réseau Sentinelles. Nous allons discuter désormais de la qualité de ces données et du fonctionnement de ce réseau.

III – La grippe : une maladie sous surveillance. Evaluation géographique du réseau Sentinelles

Détecter pour mieux alerter, telle pourrait être la mission première d'un réseau de surveillance. La détection précoce d'une épidémie n'est possible que s'il existe un système d'alerte. Ceci suppose de définir à l'avance les " événements anormaux " dont on veut surveiller l'apparition. Un réseau d'observations semble être un préalable nécessaire dans une logique opératoire d'alerte. Recueillir les données et modéliser celles-ci pour simuler l'ampleur et la propagation géographique des épidémies sont les objectifs de ces types de réseau. En France deux grands réseaux, aux finalités complémentaires, sont en charge de l'activité épidémique de la grippe : le réseau des GROG d'une part (Groupes Régionaux d'Observation de la Grippe) dont le but est principalement l'analyse virologique des souches circulantes en période épidémique et le réseau Sentinelles d'autre part dont la finalité est l'alerte précoce du déclenchement épidémique et l'analyse spatiale de la propagation de la maladie.

1 – Vigilance du réseau Sentinelles

L'échelon international de la surveillance épidémique est essentiellement du ressort de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) même si des méthodes alternatives de détection précoce, encore contestées par certaines personnalités du clan bio-médical, voient peu à peu le jour²². On comprend aisément vers quel réseau s'est porté notre choix dans le cadre d'une thèse en géographie. Malgré tout, si nous allons définir en détail les modalités de fonctionnement du réseau Sentinelles, nous ferons référence parfois aux données GROG pour compléter notre propos dans d'autres chapitres de cette thèse. La majeure partie des données de ces deux réseaux est disponible gratuitement sur leurs sites internet respectifs^{23 24}: ceci mérite d'être souligné en pensant à quel point l'obtention de données peut être difficile dans le cadre d'un travail de recherche.

1-1 Le réseau Sentinelles

²² On pense notamment à la détection de la grippe par l'analyse des occurrences de termes issus des champs lexicaux et sémantiques de la Grippe au sein de la messagerie du célèbre moteur de recherche Google (*Le Monde*, Novembre 2008)

²³ www.GROG.fr

²⁴ www.Sentiweb.org

Créé par Alain Jacques Valleron et actuellement dirigé par Antoine Flahault et Jean-François Vibert, le réseau Sentinelles est un système de surveillance national qui permet le recueil, l'analyse et la diffusion de données épidémiologiques issues de l'activité des médecins généralistes libéraux membres du réseau. Sous tutelle de l'institut de Veille Sanitaire (InVS), le réseau Sentinelles est un centre collaborateur de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et est actuellement rattaché à l'UMR-S 707 Paris VI Inserm dirigée par le professeur Guy Thomas. Fort d'une équipe pluridisciplinaire composée de médecins, d'épidémiologistes, de statisticiens, d'informaticiens voire de biologistes, le réseau Sentinelles est en charge de la collecte, de l'analyse et de la diffusion de messages d'information relatifs à l'activité de certaines maladies. Cette surveillance hebdomadaire concerne les pathologies transmissibles fréquentes en médecine de ville : syndromes grippaux, diarrhées aiguës, rougeoles, oreillons, varicelles, urétrites masculines, hépatites A, B, C. Des données sont également recueillies sur l'asthme, les tentatives de suicide ou le recours à l'hospitalisation. Des enquêtes sont également parfois menées dans des domaines de recherche pointus tels que l'analyse de l'efficacité du dépistage du cancer du poumon par scanner hélicoïdal (étude dépiscan). Le réseau est constitué de plus de 1200 médecins généralistes répartis sur le territoire métropolitain, ce qui équivaut à environ 1% de la population totale des médecins généralistes en France (Fig. n°10 p.95). Les médecins Sentinelles sont, d'après la carte, relativement bien répartis sur le territoire français. Aucun département ne souffre de l'absence de médecin Sentinelles même s'il est important de noter des différences significatives de couvertures entre plusieurs régions : Pays de la Loire ou Provence Alpes Côte d'Azur sont clairement mieux couverts que Champagne-Ardenne par exemple. Notons dès à présent que la banque de données communales dont nous disposons ne nous a point permis de faire figurer les communes corses surveillées : l'absence de communes représentées ne doit en aucun cas être interprétées comme une absence de médecins Sentinelles sur l'île de beauté, bien au contraire. La répartition entre médecins situés en aires urbaines et médecins basés en milieu rural n'est que le reflet de la répartition de la population française : environ trois quarts des médecins Sentinelles sont installés dans une commune de plus de 2000 habitants. Si cette répartition des médecins n'avait point été conforme à la répartition de la population, nous aurions pu craindre un biais dans l'extrapolation puis l'analyse des données (surreprésentation des cas urbains par exemple). Afin que les données transmises soient prises en compte dans les calculs d'incidence hebdomadaires, les médecins s'engagent à se connecter régulièrement (au moins une fois par semaine). En moyenne, on peut estimer que 150 à 200 médecins se connectent

toutes les semaines transmettant ainsi leurs données, ce qui permet le calcul d'estimation des nombres de cas par départements puis régions et les calculs d'incidence (nombre de cas / 100 000 habitants). Le réseau Sentinelles définit la participation journalière d'un médecin Sentinelles actifs comme son activité de connexion sur réseau pour envoyer des données de surveillance (y compris l'information 0 cas). Elle est considérée comme égale à 1 chaque jour de l'intervalle de temps séparant deux connexions tant que celui-ci est inférieur ou égal à 12 jours. La participation hebdomadaire n'est que la moyenne des participations journalières (somme des participations journalières / 7). Elle correspond, pour le réseau Sentinelles, à un nombre théorique de médecins qui auraient participé au réseau à temps plein. Une procédure de relance des médecins Sentinelles à faible participation a néanmoins été mise en place : elle est activée en deçà d'un seuil d'une connexion hebdomadaire en trois semaines. Deux relances consécutives doivent, en théorie, aboutir à l'exclusion du médecin du protocole de surveillance. Tout médecin non-exclu est considéré comme actif.

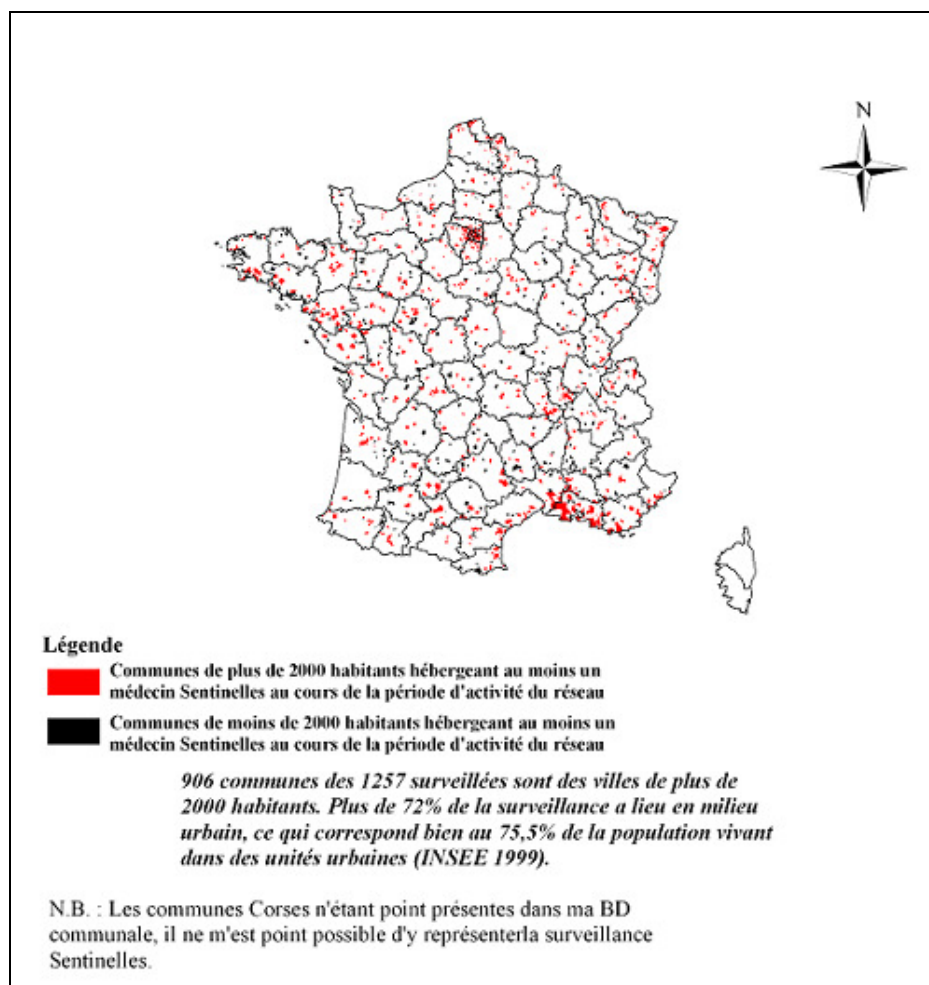


Fig. n°10 : La surveillance Sentinelles dans les communes françaises

Selon le réseau Sentinelles, les objectifs de surveillance sont en 2008 :

- *suivre et prévoir l'évolution spatio-temporelle des pathologies surveillées,*
- *détecter et alerter précocement de la survenue d'épidémies régionales et/ou nationales,*
- *détecter et étudier les déterminants de ces pathologies,*
- *développer la recherche épidémiologique en médecine générale.*

Les données issues du réseau Sentinelles permettent de concevoir :

- *des systèmes d'information géographique et temporelle explicitant l'évolution de l'activité hebdomadaire nationale des maladies surveillées,*
- *des modèles de détection, d'alerte et de prévision des épidémies avec une simulation de leur propagation géographique sur les 3 semaines à venir,*
- *des enquêtes épidémiologiques transversales.*

La définition d'un cas de grippe bien que défini selon des critères scientifiques indéniables reste, malgré tout, tributaire de l'appréciation personnelle du médecin. Ainsi, seule une confirmation par analyse en laboratoire permet de confirmer ou d'infirmer le cas de grippe. Le cas de grippe clinique sera défini selon les médecins Sentinelles lorsque le patient sera touché par l'ensemble des symptômes suivants : fièvre supérieure à 39°C d'apparition brutale, myalgie et signes respiratoires (rappelons que les virus grippaux touchent l'appareil respiratoire qui constitue sa « porte d'entrée »). Ainsi, compte tenu des recommandations précédentes, plutôt que de cas de grippe, il serait plus juste de parler de syndromes grippaux. Ainsi, ce dispositif a pour vocation de renforcer la veille sanitaire en France. Le gain en précision de ces prévisions reste grandement tributaire d'une augmentation en nombre et d'une amélioration de la répartition spatiale du nombre de médecins généralistes participants. Malgré tout, la participation actuelle permet des analyses satisfaisantes. Il semble logique que le nombre de cas de grippe soit fortement corrélé avec le nombre d'habitants (plus d'habitants = plus de cas de grippe). La réalisation de cartes en anamorphose²⁵, de la population régionale d'une part et du nombre de cas de grippe d'une épidémie donnée d'autre part, offre les mêmes niveaux de déformations : voici une manière différente de mettre en lumière une forte corrélation (Fig. n°11p.97). La répartition actuelle des médecins et la manière dont sont

²⁵ Rappelons que l'anamorphose vise à déformer une surface, à pondérer une distance de manière proportionnelle à un jeu de donnée. Nous avons tous à l'esprit la carte de France des temps de trajet en train où les dessertes TGV semblent très proches de Paris. Dans le cas présent, plus une région aura d'habitant ou de cas de grippe plus sa surface sera accrue. La réalisation de ce type de carte est faite sous la plateforme SIG Arcgis 9.2 en utilisant l'extension *Cartogram* téléchargeable sur le site d'ESRI.

extrapolées les observations peuvent être « en général » qualifiée de satisfaisante. Afin d'illustrer les calculs de participation puis de contribution hebdomadaires des médecins Sentinelles, je reprendrai ici l'illustration d'un calcul pris en exemple dans le bilan d'activité de 1996 du réseau.

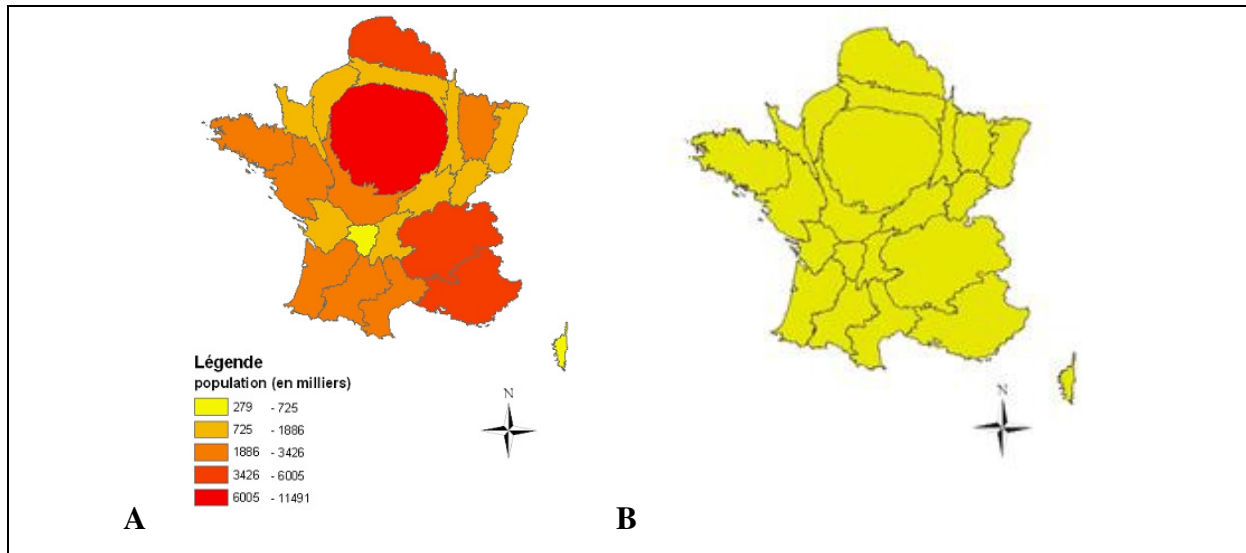


Fig. n°11 : La France de la population (A) et la France des cas de grippe en 2006 (B), deux représentations superposables.

Le schéma suivant (Fig. n°12) directement issu du rapport de 1996 représente l'état de la participation d'un médecin Sentinelles sur 3 semaines jusqu'à une date donnée.

Schéma :

| * 1 | C-2 (13 jours) | | | | | | | C-1 (11 jours) | | | | | | | C0 | | | |
|-----|----------------|---|-----|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|-----|---|-----|---|---|---|
| * 2 | D | L | M | M | J | V | S | D | L | M | M | J | V | S | D | L | M | M |
| * 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| * 4 | 6/7 | | 0 | | | | | 2/7 | | | | | 7/7 | | 2/7 | | | |
| * 5 | S-4 | | S-3 | | | | | S-2 | | | | | S-1 | | S | | | |

*1 : connexion
 *2 : jour
 *3 : participation par jour (dénominateur = 7)
 *4 : participation par semaine
 *5 : semaine

Fig. n°12 : Schéma illustratif de la participation hebdomadaire d'un médecin Sentinelles (Source : bilan d'activité annuelle du réseau Sentinelles, 1996)

A la semaine S, on considère la connexion origine (C0) qui a lieu le mardi comme validée car la connexion précédente remonte à 11 jours (i.e. inférieur au délai d'exclusion). On attribue une valeur de participation de 1/7 à chacun de ces 11 jours. Par conséquent, la valeur de participation du médecin cette semaine sera de 2/7 (la semaine n'étant pas terminée, une mise à jour de la participation serait proposée lors de la connexion suivante). **Pour la semaine S-1**, la participation hebdomadaire de ce médecin est égale à la somme des participations de chaque jour ($7 \times 1/7 = 1$). Concernant **la semaine S-2**, la connexion C0 fait augmenter la participation à un niveau de 2/7 (samedi et dimanche). Tous les jours situés au-delà du délai d'exclusion ont alors un niveau de participation 0.

On imagine dès lors que l'interprétation des niveaux de participation doit se faire avec la plus grande prudence : un jour dit de participation correspond, selon cette définition, soit à un jour de connexion, soit un jour situé dans l'intervalle entre le jour de connexion et le délai d'exclusion. Ainsi, le réseau Sentinelles complète ses calculs de participation avec des calculs de contributions hebdomadaires (Fig. n°13)

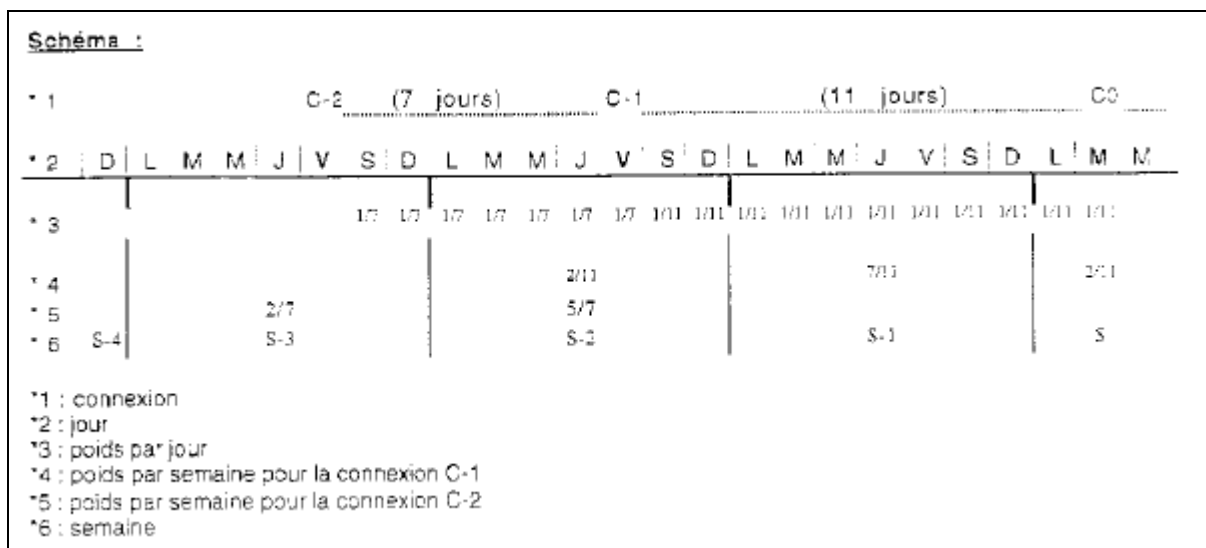


Fig. n°13 Schéma illustratif de la contribution d'un médecin Sentinelles
 (Source : bilan d'activité annuelle du réseau Sentinelles, 1996)

En **semaine S**, comme précédemment, on considère que la connexion origine (C0) a lieu un mardi. Cette connexion est validée car la connexion précédente (C-1) remonte à 11 jours. C0 intervient dans le calcul des cas des trois semaines S, S-1 et S-2. On attribue alors le poids de 1/11 à chacun des jours séparant C0 de C-1 (soit 11 jours) puis on en fait la somme pour chacune des semaines soit respectivement : 2/11, 7/11 et 2/11. Concernant la **semaine S-1**, on

applique le même principe pour la connexion C1 du vendredi de cette semaine séparée par 7 jours. Nous obtenons alors les poids de 5/7 et 2/7 pour les semaines S-2 et S-3.

Ces calculs de participations et de contributions vont être à la base des calculs de cas déclarés puis du redressement de cas au niveau national sur la base des régions.

- Calcul des cas déclarés à partir des contributions

En reprenant une nouvelle fois l'exemple détaillé dans le bilan de 1996, considérons que si lors de la connexion C0, le médecin a déclaré 5 cas de grippe et pour la connexion C-1, 8 cas de grippe ; alors pour la semaine S-1, seule la connexion C0 apporte une contribution d'une valeur de 7/11. On obtient alors $5 \times (7/11) = 3,18$ cas de grippe.

Pour la semaine S-2, la contribution apportée par C0 est de 2/11 et celle de C-1 est de 5/7. On obtient ainsi $(5 \times (2/11)) + (8 \times (5/7)) = 6,62$ cas de grippe.

- Exemple du redressement de cas au niveau national sur la base des régions.

Le calcul au niveau national du nombre de cas redressé par région à un moment donné s'effectue comme suit.

Soit : P_{ij} : participation régionale de la région i à l'instant j ; N_{ij} : nombre de cas déclarés de la région i à l'instant j ; $NBMED_{ij}$ le nombre de médecin généralistes pour cette région i à l'instant j (i variant de 1 à 22).

Les P_{ij} médecins Sentinelles ayant participé ont déclaré N_{ij} cas. Ainsi, 1% des médecins généralistes de cette région i auraient déclaré X_{ij} cas.

$$\rightarrow X_{ij} = (N_{ij} / P_{ij}) \times (NBMED_{ij} / 100)$$

Ainsi, au niveau national, le nombre de cas redressé correspond à la somme des X_{ij} pour $i = 1 ; 22$ (Fig. n°14)

$$NBCAS_REDREG = \sum_{i=1}^{22} \frac{N_{ij}}{P_{ij}} * \frac{NBMED_{ij}}{100}$$

Fig n°14 : Somme permettant le redressement des cas nationaux sur la base des cas régionaux
(Source : bilan d'activité annuelle du réseau Sentinelles, 1996)

Ainsi, le réseau Sentinelles est en charge de la surveillance épidémiologique d'un certain nombre de pathologies. Basée sur le report régulier des observations faites par des médecins généralistes volontaires, cette surveillance a pour but de déterminer des nombres de cas afin

de permettre une diffusion de l’alerte lorsqu’un seuil est franchi. La méthode, utilisée par le réseau Sentinelles et mise en routine, prend en compte l’activité épidémique des années précédentes : il s’agit de la méthode de Serfling.

- Calcul du seuil de déclenchement épidémique, dit « seuil de Serfling »

Ce seuil de Serfling fait référence à l’auteur ayant formalisé cette méthode mathématique dans le cadre d’un article paru dans *Public Health Research* en 1963. Le réseau Sentinelles de veille épidémiologique évalue que l’on bascule en situation épidémique lorsque l’incidence hebdomadaire dépasse le seuil épidémique fixé pendant deux semaines consécutives. Cette méthode consiste à modéliser les incidences hors période épidémique des cinq années précédentes en les régressant sur une tendance et deux harmoniques (Chatignoux ; 2004). La borne supérieure des prédictions pour l’année suivante constitue le seuil épidémique. Un véritable « serpent de Serfling » est ainsi formé (Fig. n°15.)

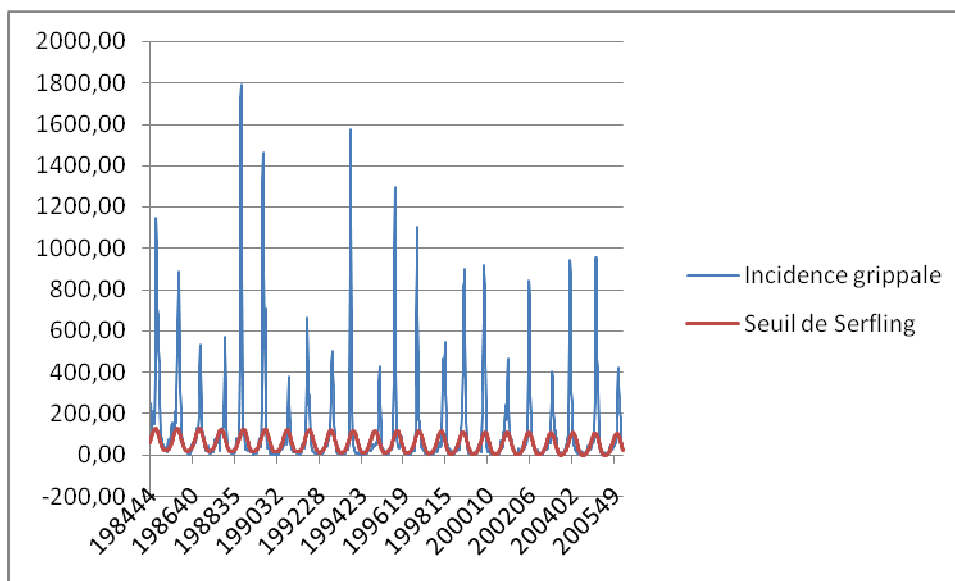


Fig. n°15 : Seuil épidémique fixé par la méthode de Serfling depuis la création du réseau Sentinelles

En simplifiant, considérons que les valeurs d’incidence au-delà du seuil de Serfling correspondent à des situations épidémiques. Plus précisément, on parle d’épidémie de grippe lorsqu’il y a coexistence dans une même région pendant au moins deux semaines consécutives d’une augmentation de l’activité sanitaire, par rapport à un taux de base régional défini chaque

année, à partir des données du mois d'octobre, et d'une proportion de prélèvements positifs supérieure à 10 % pour un même sous-type de grippe.

Le réseau Sentinelles permet de suivre l'activité épidémique de maladies données sur le territoire métropolitain et la Corse. En mettant en ligne gratuitement leurs données, le réseau permet la réalisation d'études épidémiologiques mais également ouvre la possibilité de croiser ces données d'observation avec d'autres types d'information. L'analyse de ces données nous permet d'abord de déterminer les principales caractéristiques des épidémies couvertes par la période d'activité du réseau.

1-2 Les épidémies se suivent mais ne se ressemblent pas

Le Ministère français de la Santé définit une épidémie comme suit : « *toute augmentation significative de la fréquence d'une maladie au-delà de ce qui est observé habituellement.* » Ainsi, durant les périodes interpandémiques, les épidémies saisonnières de grippe présentent des ampleurs variables (Fig. n°16) généralement de novembre à avril.

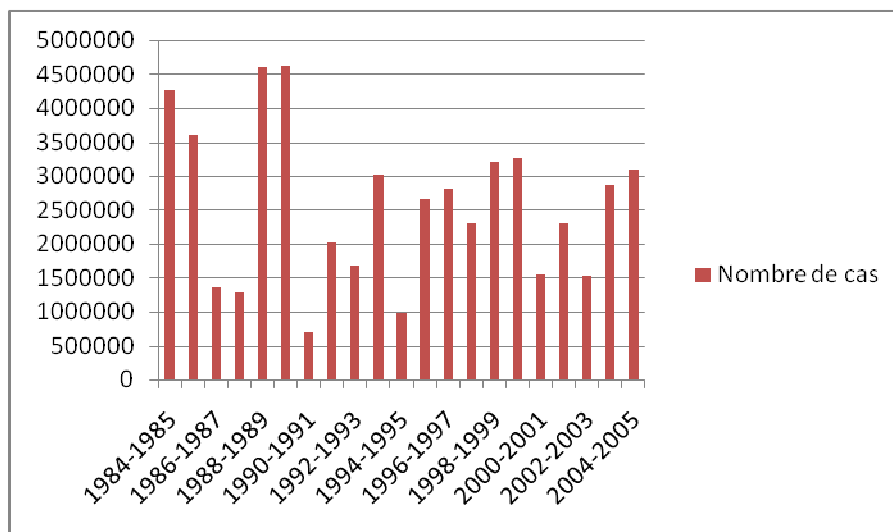


Fig. n°16 : Des épidémies de grippe d'ampleurs variables

Un caractère presque cyclique semblerait se dessiner. En effet, après la survenue d'une pandémie, le nombre de cas observés va, les saisons suivantes, décroître. Un régime d'épidémies saisonnières aux caractéristiques virales proches s'installera jusqu'à la survenue d'une nouvelle pandémie et ainsi de suite. Malgré tout, différents types d'épidémies sont observables en fonction de leurs dates de déclenchement. Une typologie simple des épidémies de grippe, en trois groupes, est ainsi proposée : précoces (octobre, novembre), centrées

(décembre, janvier), tardives (février, mars)²⁶ en fonction de leur date de déclenchement au sein de la saison froide. De même, outre la taille de l'épidémie, l'importance du pic ou la durée sont également à prendre en compte dans le cadre d'une analyse globale et présentent également des variations non négligeables. (Tab. n°2)

Tab n°2: Principales caractéristiques des épidémies de grippe en France métropolitaine depuis 1984 (Source : Sentinelles, 2006)

| Saisons | Semaine de début ²⁷ | Durée | Pic (pour 100 000 habitants) | Nombre de cas | Type |
|------------------|--------------------------------|-----------|------------------------------|------------------|----------------|
| 1984-1985 | 3 | 12 | 1 145 | 4 270 000 | centrée |
| 1985-1986 | 1 | 13 | 886 | 3 610 000 | centrée |
| 1986-1987 | 4 | 6 | 535 | 1 350 000 | centrée |
| 1987-1988 | 9 | 6 | 568 | 1 290 000 | tardive |
| 1988-1989 | 46 | 9 | 1 793 | 4 600 000 | précoce |
| 1989-1990 | 48 | 11 | 1 463 | 4 620 000 | centrée |
| 1990-1991 | 6 | 4 | 379 | 700 000 | tardive |
| 1991-1992 | 49 | 10 | 663 | 2 020 000 | centrée |
| 1992-1993 | 3 | 8 | 603 | 1 670 000 | centrée |
| 1993-1994 | 47 | 7 | 1 575 | 3 020 000 | précoce |
| 1994-1995 | 12 | 6 | 430 | 980 000 | tardive |
| 1995-1996 | 47 | 7 | 1 296 | 2 660 000 | précoce |
| 1996-1997 | 48 | 8 | 1 102 | 2 810 000 | centrée |
| 1997-1998 | 7 | 11 | 547 | 2 300 000 | tardive |
| 1998-1999 | 53 | 12 | 897 | 3 200 000 | centrée |
| 1999-2000 | 49 | 10 | 928 | 3 270 000 | centrée |
| 2000-2001 | 50 | 10 | 474 | 1 550 000 | centrée |
| 2001-2002 | 1 | 8 | 854 | 2 300 000 | centrée |
| 2002-2003 | 5 | 11 | 401 | 1 520 000 | tardive |
| 2003-2004 | 45 | 9 | 933 | 2 870 000 | précoce |
| 2004-2005 | 3 | 10 | 953 | 3 100 000 | centrée |

Ainsi, on observe que l'épidémie la plus forte a touché 4 620 000 personnes durant l'hiver 1989-1990. On note que le pic épidémique le plus intense fut atteint la saison précédente avec 1793 cas de grippe pour 100 000 habitants. L'épidémie la plus précoce démarra durant la 45^{ème} semaine de novembre en 2003 et la plus tardive la 9^{ème} semaine de 1988. Les durées d'une épidémie s'échelonnent de 4 semaines pour la plus courte (saison 1990-1991) à 13 semaines lors de la saison 1985-1986. Plus de la moitié des épidémies sont de type « centrée ». Si la grippe est une maladie « de saison froide », la forte proportion d'épidémies démarrant en décembre-janvier semble, pour l'instant, attester de l'importance de caractères

²⁶ Cette typologie basée sur le dépassement du Serfling sera discutée plus tard.

²⁷ Les semaines légales sont codées à partir du lundi le plus proche du 1^{er} janvier. Grossièrement, les semaines 1 à 4 correspondent au mois de janvier etc. ...

typiquement hivernaux dans le déclenchement des épidémies saisonnières de grippe. Ainsi, s'il semble indéniable que le type de virus circulant est d'une importance capitale dans l'explication de l'intensité d'une épidémie, il demeure néanmoins très probable que des facteurs liés à l'environnement (selon le sens de P. George, 1973) interviennent pour accélérer, freiner voire peut-être déclencher la dynamique épidémique. En outre, le réseau Sentinelles édite chaque semaine un bilan épidémiologique et une carte d'activité des différentes maladies surveillées (Fig. n°17).

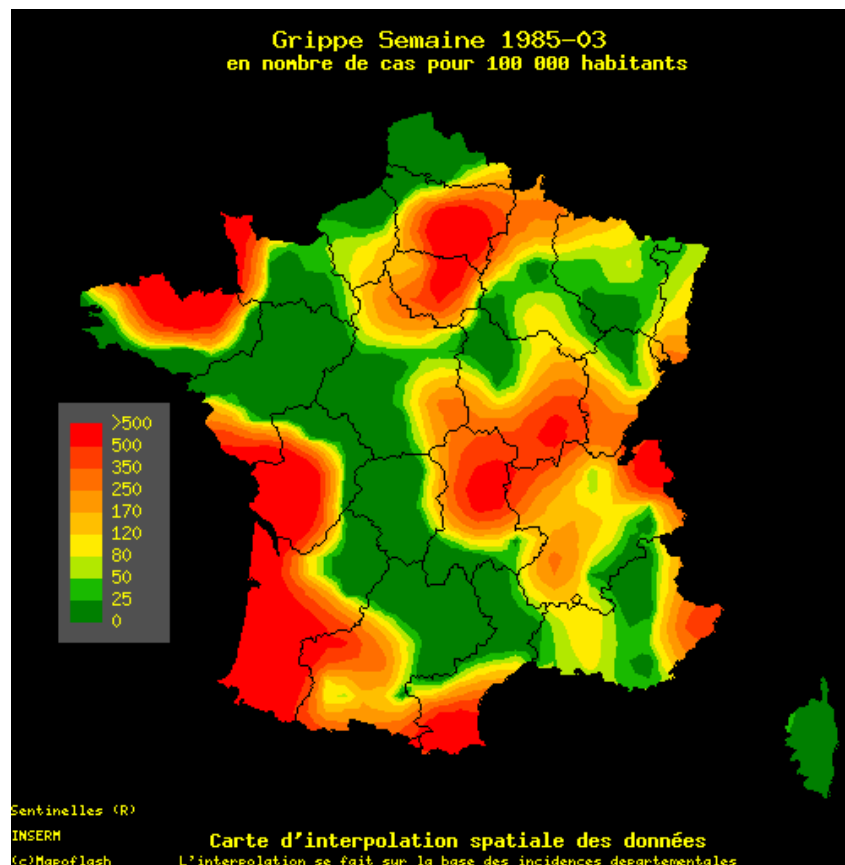


Fig. n°17 : Carte d'activité épidémique de la grippe ; exemple de la semaine 3 de 1985

(Source : Sentinelles)

La simple lecture de cette carte pose un certain nombre de questions. Pourquoi une épidémie d'une telle ampleur ne touche-t-elle pas l'ensemble du territoire de manière synchrone ? Pourquoi démarre-t-elle dans certaines régions pour n'en toucher d'autres que quelques semaines plus tard ? Il semble indéniable que des caractéristiques propres aux régions interviennent pour expliquer ces niveaux d'exposition différents à l'aléa viral. Schématiquement, on peut considérer que l'épidémie se propage telle une vague. En reprenant la représentation en anamorphose, voici une illustration de cette propagation épidémique.

Nous prenons trois « moments » représentatifs de l'épidémie de 1999 – 2000 pour illustrer notre propos : les semaines 49, 03 et 09 (Fig. n°18)

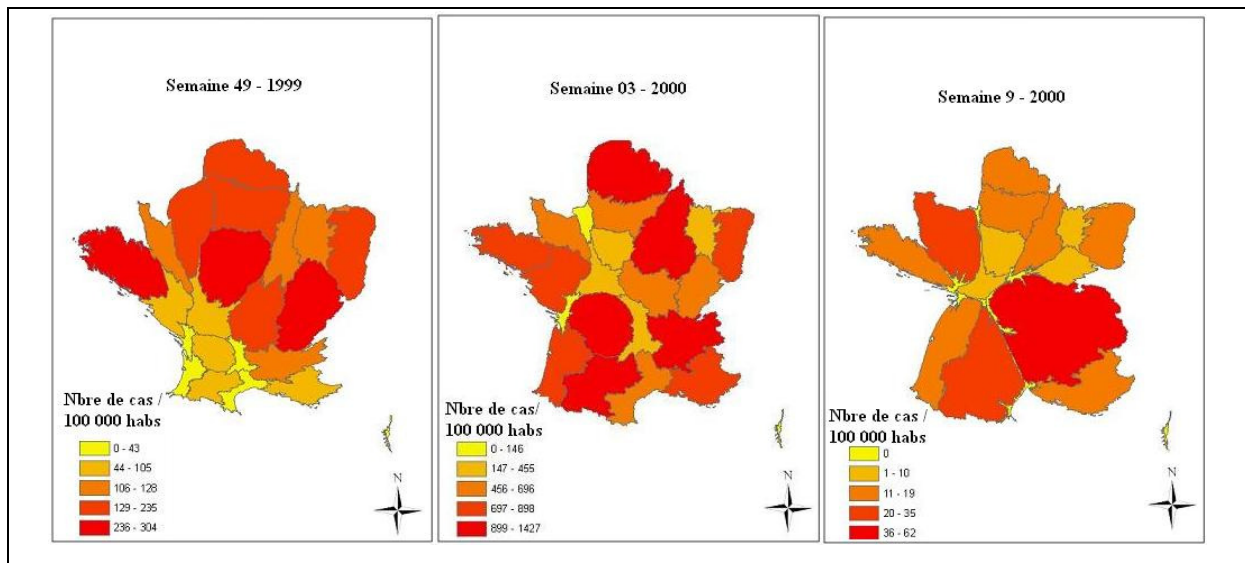


Fig. n°18 : Représentation en anamorphose de la propagation épidémique lors de l'épidémie de 1999-2000

En semaine 49, l'épidémie démarre et semble arriver par les régions septentrionales. La déformation est par conséquent plus forte sur le nord de la France : l'Île de France semble beaucoup plus grande que le Limousin par exemple. En semaine 03, nous sommes à proximité du pic de l'épidémie. La France reprend une forme « normale », les déformations sont relativement faibles : l'épidémie est présente sur tout le territoire avec des niveaux d'incidences comparables. Enfin, en semaine 09, l'épidémie est terminée depuis quelques temps déjà. Malgré tout, certains foyers épidémiques subsistent notamment dans le sud-est de la France. Pour résumer : cette vague épidémique est arrivée par le nord pour glisser peu à peu vers le sud. Nous verrons un peu plus tard que la diffusion ne se réalise pas forcément de proche en proche : certaines régions sont touchées avant d'autres.

Finalement, il est évident que les épidémies se suivent mais ne se ressemblent pas. Leurs tailles, leurs durées, leurs intensités, leurs dates de déclenchement sont différentes chaque année. De plus, toutes les régions ne sont pas touchées avec la même intensité : ce sont ces différences régionales qui serviront de support à nos interrogations futures quant aux éventuels facteurs « humains » intervenant dans la dynamique épidémique. Ainsi, le réseau Sentinelles offre une palette de données intéressantes dans l'optique d'un croisement avec des données environnementales ou socio-économiques. Il est néanmoins nécessaire de

s'interroger sur la fiabilité des données du réseau avant d'en envisager de futures analyses spatiales.

2 – Un réseau qualitativement satisfaisant

Si les membres du réseau Sentinelles ne représentent qu'un pourcentage de l'ensemble des médecins généralistes libéraux en activité, il semblerait logique de s'interroger sur la représentativité d'un tel échantillon tant du point de vue quantitatif que du point de vue de sa répartition spatiale. Nous l'avons vu précédemment, la pérennité du réseau dépend pour une large part de la transmission régulière des informations entre des praticiens généralistes « bénévoles » et le cœur du réseau chargé des calculs de redressement afin de rendre compte, modulo une certaine marge d'erreur, de l'activité épidémiologique des pathologies surveillées. Des médecins adhèrent, d'autres se désengagent. Ceci a fait grandement évoluer la géographie des médecins Sentinelles sur le territoire métropolitain depuis la création du réseau en 1984 : certaines régions bien couvertes dans les années 80 sont désormais délaissées. Il semble évident qu'une situation épidémique déduite, pour un département sans surveillance, des situations des départements limitrophes ou des autres départements composant la région devra être analysée avec plus de distance que celle calculée sur la base d'un semis dense de médecins. Dans ce paragraphe, nous allons nous interroger sur l'évolution quantitative des médecins Sentinelles depuis la création du réseau en insistant finalement sur la tendance actuelle. Nous verrons également la répartition des membres actifs à des périodes charnières du réseau. Enfin, nous nous interrogerons sur la représentativité des médecins Sentinelles à l'échelle des départements et ce, à ces mêmes périodes charnières.

2-1 Analyse des effectifs, une baisse inquiétante

Il est nécessaire, maintenant encore, de préciser cette distinction fondamentale entre membre inscrit et membre participant. On peut considérer qu'en moyenne entre 150 et 200 médecins participent au réseau dans le sens précédemment défini. Ces sont ces médecins participant qui feront l'objet de notre analyse ici. Les données ci-étudiées furent transmises gracieusement par les membres parisiens du réseau Sentinelles. L'analyse de ces données est sans appel. Le réseau Sentinelles souffre indéniablement d'une érosion du nombre de médecins participant (fig. n°19 p.106). Néanmoins, plusieurs périodes distinctes semblent marquer la participation au réseau. La croissance du réseau est très rapide : on passe de moins de 100 médecins

participant en 1984 à plus de 450 en 1988. En dépit d'une baisse significative de participation jusqu'en 1991, nous restons bien en deçà d'un seuil de 300 participants. La période 1987-1997 correspondra à ce que l'on pourrait appeler l'âge d'or du réseau avec des années phares : 1988 (454 participants), 1992 (489 participants). De 1992 à 1997, nous allons donc rester dans des niveaux de participation assez élevés. Malgré tout, une tendance qui ne fera que s'amplifier durant la décennie suivante est déjà observable : la participation baisse.

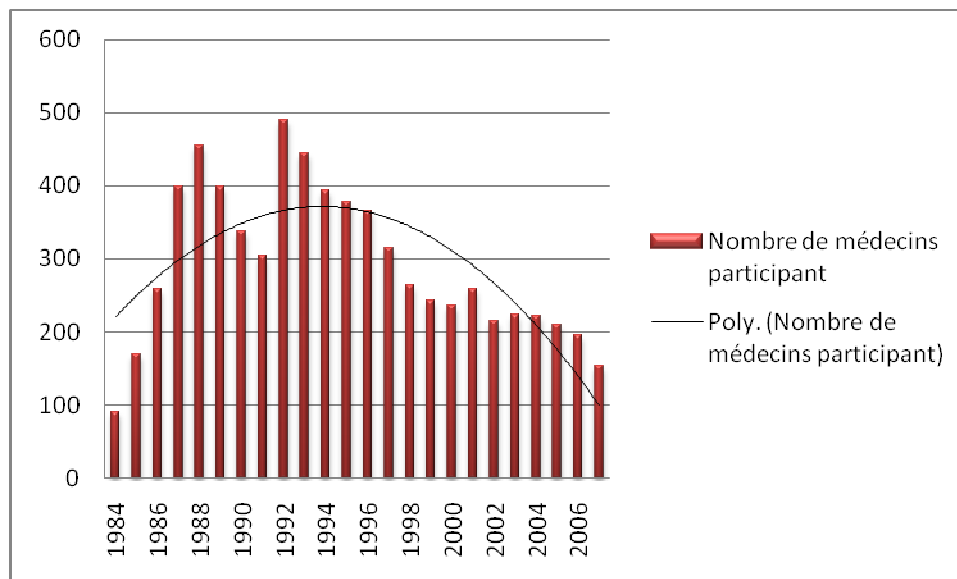


Fig. n°19 : Effectifs des médecins participant au cours de la période d'activité du réseau Sentinelles

En dépit de sursauts de participation très faibles en 2001 ou en 2003, force est de constater que la baisse du nombre de médecins participant est quasi continue de 1992 à 2007. La courbe polynomiale d'ordre 2 basée sur les effectifs de médecins participant entre 1984 et 2007 ne fait que refléter cette observation : une croissance très rapide, un pic atteint au début des années 1990 et une nette baisse jusqu'à nos jours. Notons que le niveau de participation de 2007 était inférieur à celui de 1985. Ces quelques observations pourront nous permettre de choisir, dans l'hypothèse de réalisation d'analyses d'échelles plus fines, des années « tests » caractérisées par de hauts niveaux de participation. Nous pouvons, en marge de ce constat, nous interroger sur la désaffection progressive du réseau Sentinelles. Pour ce faire, nous avons réalisé un entretien avec un ex-médecin Sentinelles qui nous a confié les raisons de son départ du réseau : manque de retour, mauvaise communication, contraintes diverses.

Cet entretien figure en annexe (Annexe n°3).

Il nous a paru également nécessaire face à nos données de médecins participant de vérifier si un effet « nombre de médecins » pouvait jouer sur les nombres de cas, en d'autres termes si une corrélation significative apparaissait entre les effectifs de médecins participant et les nombres de cas de grippe à l'échelle des régions. Nous avons extraits tout d'abord les effectifs des médecins participant années par années et ce pour toutes les régions. Dans un second temps, nous avons extrait les nombres de cas de grippe pour chacune des épidémies et pour l'ensemble des régions. Les corrélations furent calculées entre ces effectifs de médecins par années et les nombres de cas de grippe par années. Ainsi, nous obtenons un coefficient de corrélation entre les effectifs de médecins et les nombres de cas de grippe pour chaque région basé sur toutes les années de fonctionnement du réseau de 1984 à 2007 (Tab. n°3).

Tab. n°3 : Corrélations « nombre de médecins – nombre de cas » à l'échelle des régions

| | |
|-----------------------------|-------|
| Alsace | -0,19 |
| Aquitaine | -0,16 |
| Auvergne | 0,22 |
| Basse Normandie | 0,22 |
| Bourgogne | 0,06 |
| Bretagne | 0,08 |
| Centre | 0,23 |
| Champagne-Ardenne | 0,12 |
| Corse | 0,12 |
| Franche-Comté | 0,36 |
| Haute Normandie | 0,11 |
| Languedoc-Roussillon | -0,15 |
| Limousin | 0,26 |
| Lorraine | 0,22 |
| Midi Pyrénées | 0,38 |
| Nord Pas de Calais | -0,16 |
| Pays de la Loire | 0,28 |
| Picardie | 0,44 |
| Poitou-Charentes | 0,53 |
| PACA | -0,15 |
| Ile de France | -0,17 |
| Rhône Alpes | -0,06 |

La majeure partie des corrélations calculées ne sont pas significatives. Le logiciel Excel ne donnant point les seuils de significativité, nous nous sommes référés à une table présente dans un manuel (Groupe Chadule, 1997) pour les déterminer. Le nombre de degré de liberté (v) correspond au nombre de valeur d'une variable (noté n , ici 22) moins le nombre de variables explicatives (noté p , ici une seule car corrélation simple) moins 1 : $v = n - p - 1$. Le nombre

de degré de liberté est donc de 20 ici. Pour un risque d'erreur $\alpha = 0,5$ et un nombre de degré de liberté de 20, le coefficient de corrélation r est égal à 0,4227. Ainsi, tout coefficient calculé supérieur à la valeur de 0,4227 pourra être qualifié de significatif avec un risque d'erreur de 0,5. La lecture du tableau précédent (tab. n°3 p.107) indique que seules deux régions possèdent une relation significative entre les nombres de médecin et les nombres de cas tout au long de la période d'activité du réseau Sentinelles : si cette relation est certes significative, nous pouvons néanmoins noter que cette relation n'est pas très forte, leurs coefficients de corrélation ne sont pas très élevés. Pour les 20 autres régions, cette relation ne semble jamais significative : aucun ordre ne semble de plus se dessiner (des corrélations négatives et positives ressortent). De fait, en dépit de deux régions aux coefficients légèrement significatifs, il semble qu'en général le nombre de médecins participant d'une région donnée ne joue guère sur le nombre de cas de grippe. Ceci nous permet d'ôter un biais qui aurait pu être problématique. Il n'y aurait pas d'effet « nombre de médecin » sur les nombres de cas. Après avoir apprécié l'évolution quantitative des médecins Sentinelles, analysons désormais l'évolution de leur répartition au cours de la période d'activité du réseau.

2-2 Evolution de la répartition des médecins Sentinelles

Il est évident que la répartition des médecins Sentinelles au cours de la période d'activité du réseau n'est en aucune manière homogène. Tout d'abord, et nous l'avons vu, la population des médecins participant a évolué selon des schémas différents au cours des vingt dernières années. Après un âge d'or atteint au début des années 1990, le réseau semble s'essouffler pour atteindre des niveaux de participation semblables à ceux observés dans les toutes premières années de fonctionnement du réseau. La répartition est grandement tributaire de ces niveaux de participation : en effet, les années pour lesquelles la participation fut maximale ont connu la meilleure répartition de médecin. Sans réellement pouvoir parler d'équi-répartition, aucun département n'était totalement dépourvu de médecin Sentinelles. C'est pour les années de moindre participation que certaines régions ont semblé briller par leur participation par simple effet de comparaison avec des territoires dépourvus de surveillance active. L'analyse des cartes de répartition des médecins sur le territoire métropolitain nous permet d'envisager plusieurs périodes (Fig. n°20 et n°21 pp.109-110). Les premiers médecins participant du réseau étaient implantés majoritairement au Sud de la Loire. Malgré tout, leur nombre étant très faible, aucune organisation spatiale à proprement parler ne semble se dégager.

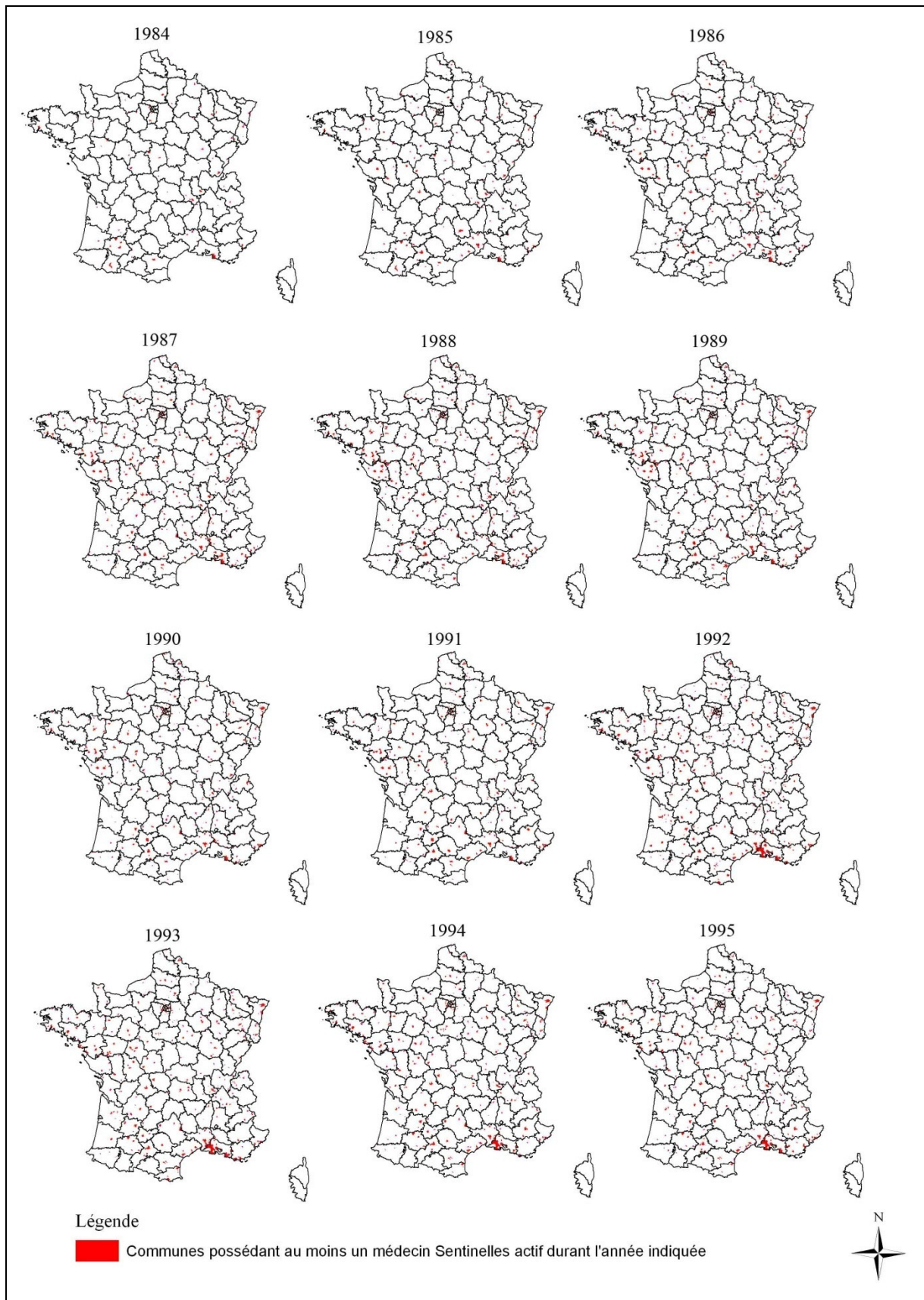


Fig. n°20 : Répartition des médecins Sentinelles sur le territoire métropolitain de 1984 à 1995

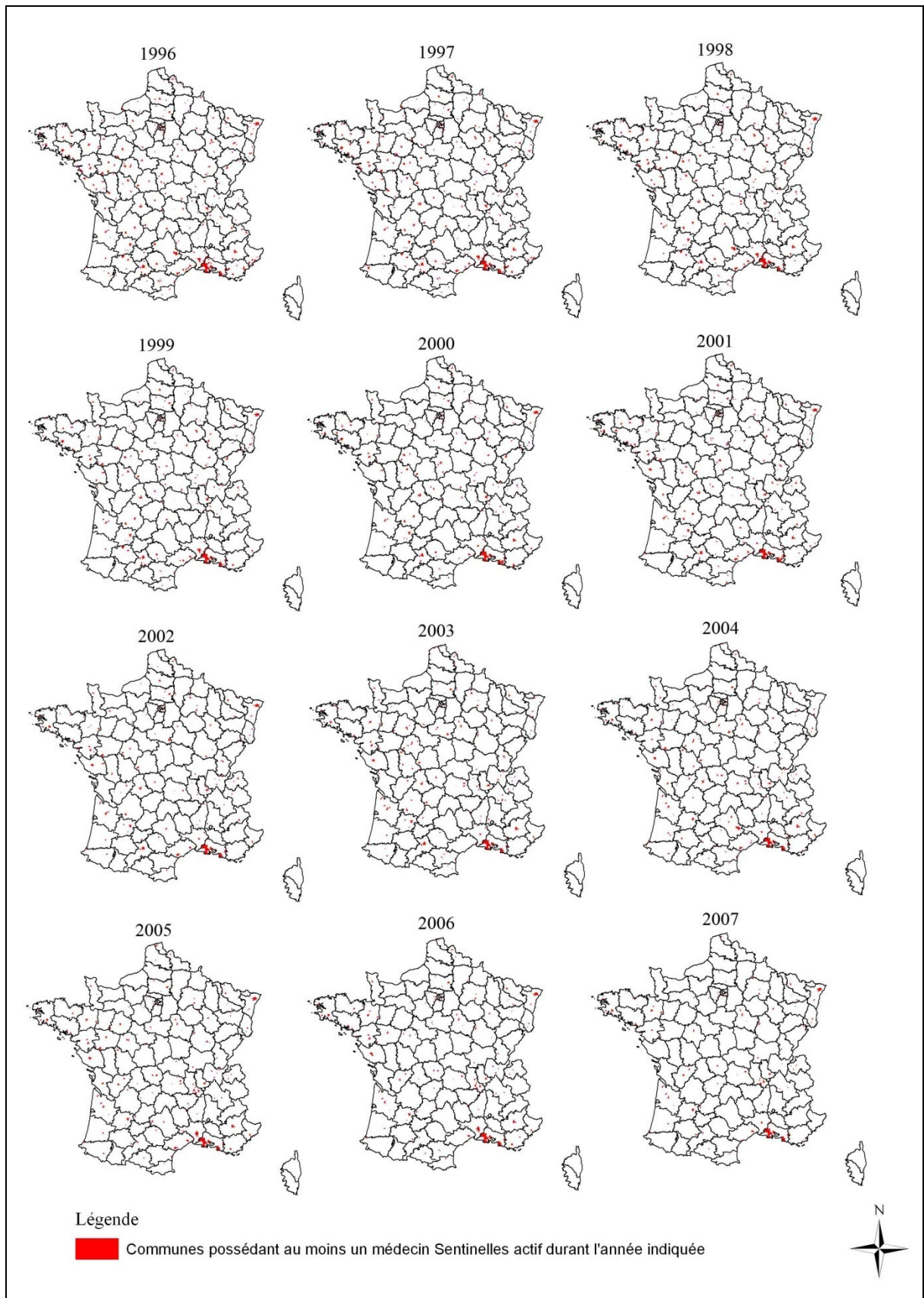


Fig. n°21 : Répartition des médecins Sentinelles sur le territoire métropolitain de 1996 à 2007

La croissance du réseau étant durant les premières années très rapide, nous avons assisté à une dissémination plutôt homogène des médecins sur l'ensemble du territoire et ce jusqu'en 1987. La fin des années 1980 marque l'arrivée massive de médecins Sentinelles dans la région Pays de la Loire. L'estuaire de la Loire est nettement coloré en rouge sur nos cartes précédentes. L'année phare précédemment mentionnée (*i.e.* 1992) voit également se multiplier les adhésions dans le sud-est de la France. Cette impression visuelle doit néanmoins être tempérée : nombre des communes représentées dans la région du delta du Rhône sont extrêmement étendues et peuvent fausser notre jugement. Malgré tout, ces adhésions massives représentent un fait non-négligeable. Passées ces années fastes, la décrue est lente mais continue. Un grand tiers Ouest semble encore assez dynamique et ce jusqu'à la fin du millénaire. Les grandes régions rurales sont les premières à souffrir de cette désaffection pour le réseau : la Bourgogne ou l'Auvergne voient certains de leurs départements désormais non-couverts. Il est nécessaire d'insister sur un point important ici : la banque de données communales qui a servi à réaliser cette cartographie ne comportait pas les communes corses. Notons que le réseau s'est nettement développé durant les dix dernières années sur l'île de beauté : nous fournissons en annexe l'évolution des effectifs des médecins Sentinelles corses pour palier ces lacunes. Il est, une fois n'est pas coutume, nécessaire malgré tout de se fonder dans une posture relative. Deux médecins Sentinelles à Monpazier (24) vont-ils mieux couvrir la population du secteur que deux médecins Sentinelles à Toulouse (31), 15 adhérents Sentinelles à Paris correspondent-ils à un maillage équivalent à 15 adhérents dans le Gers ? Il semble que non. Dès lors, il est nécessaire de ramener ces effectifs de médecins participant à la population totale (nous avons choisi ici l'échelle départementale) afin de mesurer de manière théorique les effectifs de population potentiellement desservis par un médecin Sentinelles. Nous avons, *de facto*, extrait les effectifs de population de médecins participant de quatre années test : une année au début du réseau (1985), deux années fastes en terme de participation (1988 et 1992) et une année récente (2006). Concernant les effectifs de populations départementales, nous avons utilisé les différents recensements de la population (1982, 1990, 1999 et le recensement partiel de 2005) dont les données sont fournies par l'appareil statistique national (INSEE). Ainsi, nous avons réalisé quatre cartes correspondant à ces années charnières (Fig. n°22 p.112). La discrétisation (méthode de Jenks) en 5 classes relative au nombre d'habitants par médecin Sentinelles fut générée automatiquement par la plateforme SIG Arcgis 9.2. Nous avons ajouté à cette information le nombre de médecins Sentinelles (information ponctuelle) en surimposition sur ces aplats de couleur.

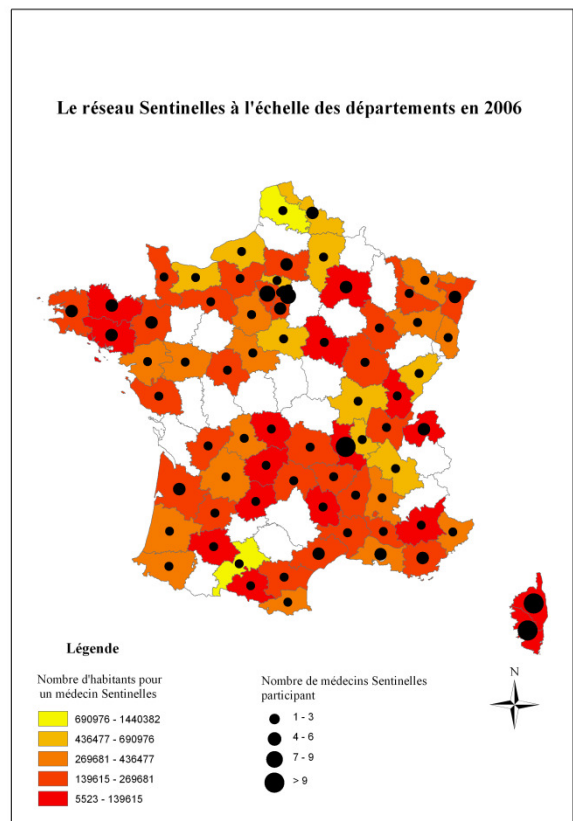
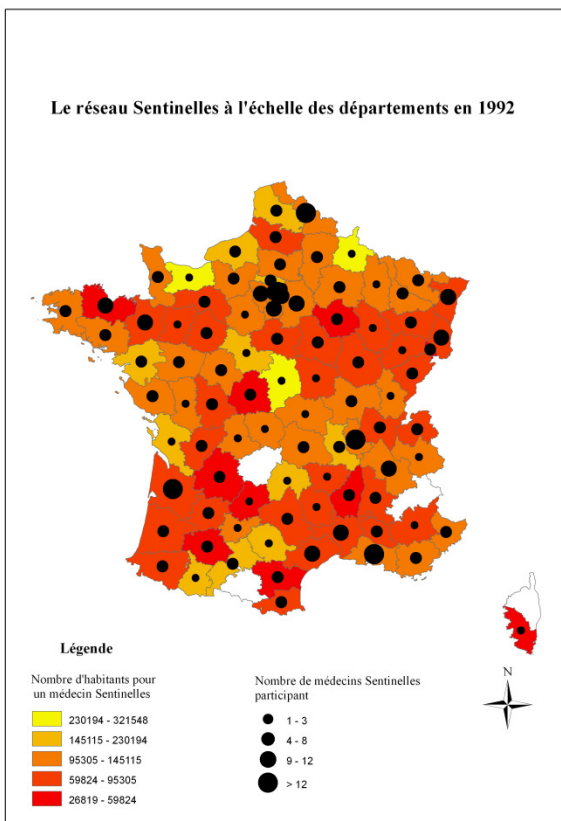
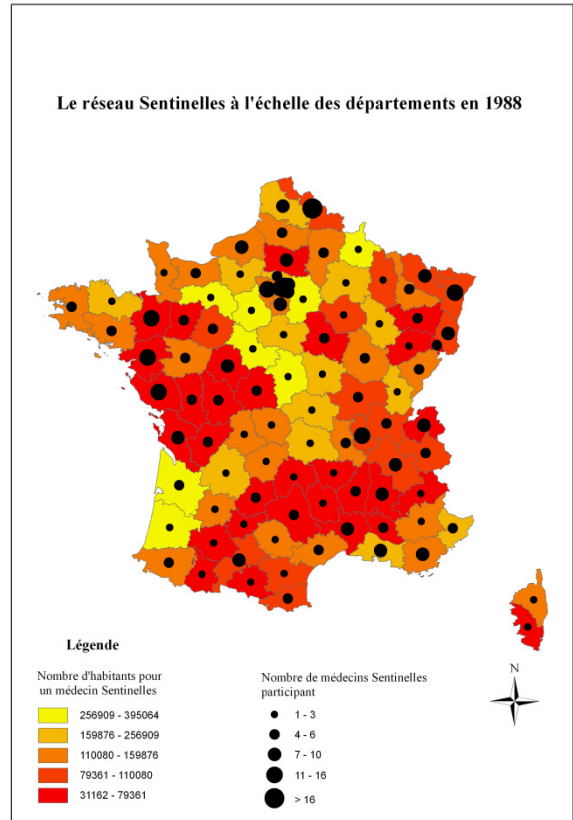
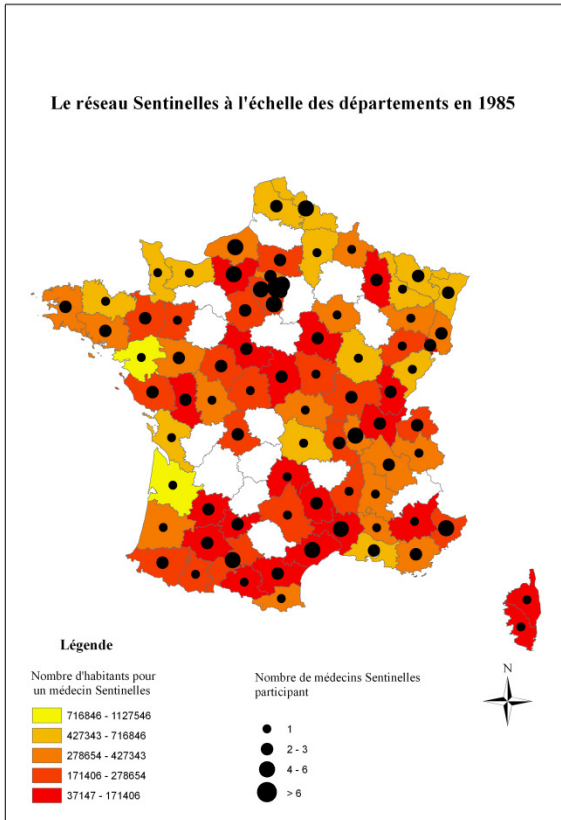


Fig. n°22 : Nombre de médecins Sentinelles par habitants pour les années 1985, 1988, 1992 et 2006

Les départements aux couleurs les plus chaudes correspondent aux territoires offrant les meilleurs ratios « médecins pour un nombre d'habitant donné ». Les informations obtenues permettent ainsi de relativiser nettement les impressions qui pouvaient se dégager des premières cartes de localisation des médecins. En 1985, le réseau n'a qu'un an. De nombreux départements ne sont pas encore couverts par des médecins adhérents. L'ouest du Massif central et les confins du Bassin parisien en sont, par exemple, dépourvus. En revanche, les régions déjà couvertes offrent des ratios assez appréciables : le grand Sud-Ouest semble sortir du lot. La carte de 1988 semble la plus intéressante en terme de répartition et d'efficacité du réseau : aucun département ne souffre de l'absence d'adhérent. La teinte d'ensemble est le rouge. Quelques larges secteurs sont très bien couverts, c'est le cas d'une dizaine de départements centrés sur la Vendée mais également des départements formant une nette diagonale des Pyrénées jusqu'aux Alpes en passant par la frange sud du Massif-central. Il est évident que le ratio est à l'avantage des départements les plus ruraux, par suite du nombre de médecins participants quasi-équivalent pour des populations départementales très faibles. On observera dans les meilleurs des cas un médecin Sentinelles pour moins de 32 000 personnes. La situation est sensiblement identique en 1992. Certes, si trois départements sont alors non-couverts (Corrèze, Hautes-Alpes et Ariège), le schéma est globalement identique. On observe même un rattrapage des départements les moins bien desservis sur les autres : c'est le cas pour la Gironde, les Landes et l'ensemble des départements des limites du Bassin parisien. Le réseau est alors bien implanté sur le territoire métropolitain : on observe sur la majeure partie du territoire au moins un médecin Sentinelles pour 100 000 habitants. La dernière carte représente le réseau à l'issue de la lente décrue amorcée au milieu des années 90. La situation en 2006 peut sembler préoccupante : une vingtaine de départements sont désormais non-couverts par des médecins Sentinelles participant, principalement dans des secteurs ruraux (régions de montagne ou régions agricoles). Néanmoins, notons qu'au cours de cette dernière période des départements ont vu se développer nettement le réseau Sentinelles, ceci s'observe au nord-ouest du Massif central, en Haute-Savoie, dans le sud des Alpes et de manière très distincte dans les départements corses. L'érosion est malgré tout très nette et on observe en 2006 sur la majorité du territoire un médecin Sentinelles pour 200 000 habitants.

Il est nécessaire, malgré tout, de considérer dans le même temps l'évolution des populations de médecins généralistes libéraux en activité dans les départements qui va jouer indéniablement sur les potentielles adhésions au réseau. Par conséquent, intéressons nous à la représentativité des médecins Sentinelles parmi les médecins généralistes libéraux en activité.

3- Une représentativité spatiale correcte sur la majeure partie de la période d'activité mais des tendances actuelles inquiétantes.

Le ratio de représentativité est défini pour un département donné comme le nombre de médecins Sentinelles en activité sur le réseau divisé par 1% du nombre de médecins généralistes libéraux. Nous avons obtenu les effectifs de médecins généralistes libéraux actifs au cours des douze derniers mois par l'intermédiaire de la CNAM (Caisse Nationale d'Assurance Maladie) et ce, pour toutes les années depuis 1984. Nos effectifs de médecins Sentinelles participant sont toujours issus des banques de données du réseau. Nous avons dès lors calculé ces ratios de représentativité pour chacune des quatre années tests précédemment étudiées (1985, 1988 1992 et 2006) afin d'en réaliser des cartes qui complètent la série antérieure (Fig. n°23 p.115). Ainsi ces cartes prennent en compte la population médicale active des différents départements métropolitains et permettent de nuancer notre jugement quant à la répartition des médecins Sentinelles. Néanmoins, une première lecture de ces cartes ne semble que confirmer les précédentes observations. Tout d'abord, du point de vue temporel, l'information extraite de cette seconde série est toujours la même et grandement tributaire de l'évolution des effectifs des médecins Sentinelles. La période de plus grande activité du réseau (début des années 1990) correspond à une meilleure répartition des ratios de représentativité élevés. Les départements aux ratios supérieurs à 1 sont majoritaires sur l'ensemble du territoire français pour la carte de 1988 comme pour celle de 1992. Seuls quelques départements sont crédités de ratios strictement inférieurs à 0,5 : les départements sans surveillance Sentinelles active, bien sûr, mais également un certain nombre de départements ruraux où la surveillance Sentinelles était peu développée quantitativement parlant. En revanche, dans les secteurs ruraux les plus profonds (nous pensons au sud de l'Auvergne par exemple), quelques médecins Sentinelles, comparés à des effectifs de médecins généralistes libéraux actifs assez bas, contribuent à élever sensiblement ces ratios de représentativité (de fait, le Cantal semble jouir d'une couverture Sentinelles satisfaisante au regard de la représentativité des adhérents au réseau face à l'ensemble des praticiens généralistes).

En revanche, la situation en 2006 semble réellement préoccupante. La teinte d'ensemble de la carte est le jaune traduisant une représentativité faible des médecins Sentinelles. La comparaison avec la carte de 1985 s'impose d'emblé : il semble même que la situation actuelle soit plus problématique.

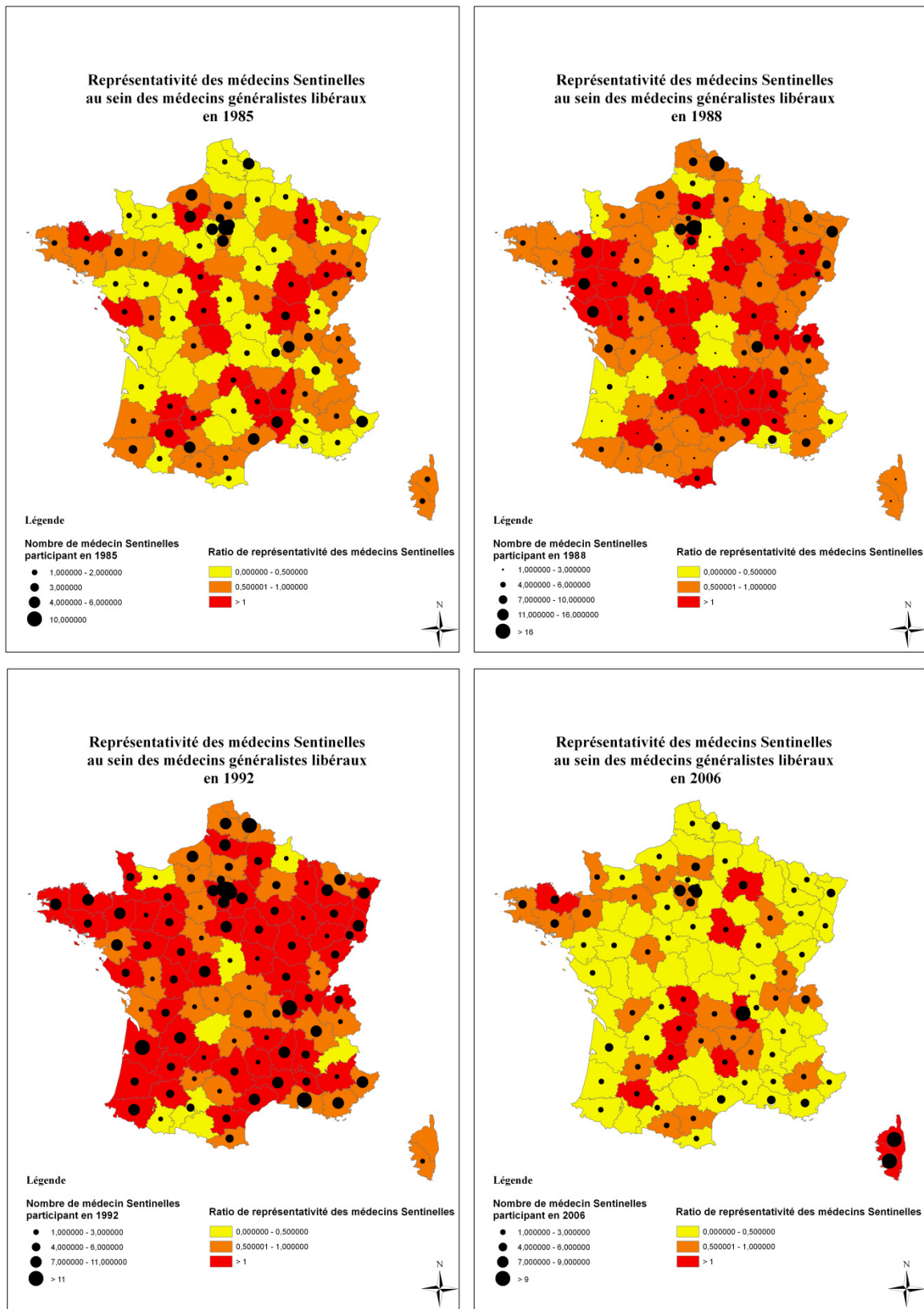


Fig. n°23 : Représentativité des médecins Sentinelles au sein des médecins généralistes libéraux en activité pour quatre années tests

Premièrement, le réseau en 1985 est en plein développement (la situation les années suivantes ne fait que confirmer ce point) ; deuxièmement, en dépit d'une tendance lourde à la baisse depuis le milieu des années 1990, il ne semble pas que les différentes campagnes de recrutement aient porté leurs fruits. La désaffection du réseau Sentinelles est préoccupante et pose la réelle question de la pérennité de ce réseau de surveillance en l'état.

Conclusion partielle

Face à la problématique de cette thèse qui vise à exploiter les données Sentinelles afin de les comparer à des données/facteurs socio-éco-environnementaux, nous pouvons considérer le réseau comme fiable. Seules les années les plus récentes sont caractérisées par des représentativités majoritairement faibles. De plus, les méthodes de redressement des cas sont suffisamment robustes mathématiquement pour que les estimations en sorties soient fiables. Il conviendra ainsi de prendre néanmoins quelques précautions. Si d'aventure, nous devions analyser une ou plusieurs épidémies en particulier, il sera nécessaire de s'interroger sur la qualité de couverture du réseau. Enfin, dans l'optique de croisement avec d'autres facteurs, il sera difficilement concevable de descendre à une échelle plus fine que la région pour l'ensemble des raisons précédemment mentionnées.

Conclusion de partie

On l'a vu, les relations entre l'environnement et la santé soulèvent des questions depuis des millénaires. Tantôt caractérisée par une accélération du processus de création de connaissance, tantôt en repli, l'histoire a porté ces changements de l'antiquité grecque à nos jours. Peu à peu, en progressant, la pensée humaine introduisit d'autres variables explicatives. D'un milieu physique responsable de tous les maux (jusqu'aux mœurs mauvaises), on comprit que des variables relatives au milieu social pouvait être aussi bien explicatives dans l'occurrence de certaines pathologies. Il ne s'agissait pas cependant de passer d'un « tout milieu » à un « tout société » pour expliquer l'apparition des maladies. L'explication devait probablement se trouver à l'intersection milieu physique - milieu social et seule une habile combinaison des deux facteurs pouvait alors expliquer la maladie. Une des plus belles démonstrations géographiques en la matière reste l'évocation du complexe paludéen par Sorre (1933) où l'aire pathogène est le croisement entre un milieu marécageux favorable associée à certains bassins de population susceptibles. Il est évident, dans une thématique associée au risque, qu'un aléa infectieux ne représente pas un risque en l'absence de population, tout comme les vents catabatiques ($>300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) glissant sur le continent Antarctique n'ont jamais inquiété personne...

Ainsi, il s'agit bien d'évoquer un risque sanitaire, un risque grippal. L'aléa est donc le virus dont la fréquence de retour est annuelle. Un paramètre ne peut malgré tout pas être géographiquement traité : sa composition antigénique déterminant sa virulence. Nous pouvons néanmoins analyser des paramètres physiques jouant sur le virus, sur sa survie mais également jouant sur la vulnérabilité des individus. Si nous ne pouvons pas déterminer par avance la virulence de l'aléa, nous pouvons analyser les paramètres du milieu qui le stimulerons le mieux, qui lui permettrons de mieux pénétrer les organismes. Ceci est le pendant de l'étude relatif à l'aléa mais comme toute étude du risque en géographie, une part importante de l'analyse doit être consacrée à la/aux vulnérabilité(s). C'est le propre de l'analyse qualitative du risque en géographie, une dichotomie aléa/vulnérabilité dont l'évaluation aboutit à une spatialisation de ce risque. On le comprend, il va s'agir dans les parties suivantes de caractériser les conditions environnementales les plus favorables à la transmission du virus mais également de s'interroger sur l'égale ou l'inégale exposition au virus grippal à l'échelle des régions. Nous utiliserons pour ce faire, les données fournies par le réseau Sentinelles de surveillance épidémiologique : données satisfaisantes à un échelon

régional d'analyse. La partie qui suit visera d'abord à s'interroger, par le biais d'une analyse bibliographique, sur les conditions aérologiques favorables à la survie du virus mais également susceptibles d'accroître la vulnérabilité « biologique » des individus. Nous chercherons également à mettre en avant ces conditions par l'intermédiaire d'une recherche des types de temps favorables au déclenchement épidémique. Enfin, dans le but de valider nos observations, nous les confronterons avec les données d'un autre pays afin de voir si ces « types de temps » générateurs de grippe sont également observables ailleurs.

2^{ème} Partie

Introduction

Nous l'avons vu, les liens entre des facteurs climatiques et la santé ont été mis en lumière dès l'antiquité grecque (Höppe, 1997). Importants jusqu'à l'arrivée des théories pastoriennes, ces liaisons furent moins considérées par la médecine contemporaine en faveur du développement de recherches d'échelles plus petites. Cependant, beaucoup de ces idées sont restées profondément ancrées dans les esprits et les changements environnementaux actuels ont renouvelé l'intérêt de l'impact du climat sur la santé humaine (Bentley 2007; Campbell-Lendrum 2007). Le domaine de la biométéorologie crée un cadre d'étude (Höppe 1997, Folk 1997) dans lequel le scientifique étudie les interactions entre l'atmosphère et la santé humaine. En tant que science environnementale, la biométéorologie exige l'association de beaucoup de spécialistes travaillant ensemble pour délier la complexité de ces études (Weihe 1979). Évidemment, nous sommes conscients que les pratiques sociales constituent un autre axe d'importance fondamentale pour l'explication de pathologies induites par le climat, mais ce thème ne sera pas développé ici.

Les liaisons entre le climat (et ses variations saisonnières) et les maladies (infectieux et non-infectieuses, aiguës et chroniques) sont extrêmement complexes. Les effets les plus spectaculaires) du climat sur la santé humaine sont observés pour des catastrophes induites par des paroxysmes climatiques (Van Aalst 2006, Laaidi et al. 2006). On sait que les vagues de chaleur sont à l'origine de forts excès de mortalité, particulièrement dans des classes d'âge élevées, comme c'était le cas à Athènes en 1987 (Besancenot 1996), Chicago en 1995 (Kaiser *et al.* 2007), ou en Europe en 2003 (Brucker 2005). Même si l'impact de paroxysmes climatiques sur la santé humaine est plutôt facile à démontrer, la nature des liaisons entre le climat et la santé est moins apparente si l'on considère les variations climatiques saisonnières. Plusieurs décennies de recherche ont mis en lumière des liens entre le climat et quelques maladies précises. Les exemples vont de maladies chroniques comme l'asthme (Beggs et 2005 Bambrick; D'Amato et al. 2007), aux maladies à vecteurs (Chaves et Pascual 2006, Pialoux et al. 2007, Sutherst 2004). Nous pourrions aussi mentionner la liaison mise en évidence entre l'oscillation australe *El Niño* (ENSO) et le choléra.

Dans des régions climatiques tempérées, quelques maladies - comme les syndromes grippaux (ILI) - arrivent saisonnièrement (Hope Simpson 1981, Grassly et Frazer 2006). Cette

saisonnalité est traduite par pics épidémiques survenant entre octobre et mars dans l'hémisphère nord. Les épidémies sont de durées, de tailles et d'intensités différentes chaque année. Cette variabilité repose sur plusieurs explications : type de souche circulante, immunité naturelle de population, efficacité de vaccin disponible et facteurs probablement climatiques.

Notre préoccupation, dans cette partie, est de savoir si des facteurs climatiques influencent le déclenchement épidémique. Cette hypothèse s'inscrit dans la lignée de résultats récents suggérant une causalité du froid sur le l'éruption de cas de grippe aviaire (Liu et al. 2007). Même si la grippe est une maladie infectieuse fréquente affectant chaque hiver 5 à 10 % de la population dans la zone climatique tempérée (OMS 2007), la reconnaissance de sa relation avec le climat est toujours partielle. Le but du présent travail est de chercher les situations météorologiques qui pourraient être associées au début des épidémies saisonnières de grippe en France.

Il conviendra, en outre, de s'interroger sur plusieurs points précis relatifs à la France. Quels facteurs climatiques caractérisent l'hiver en France métropolitaine ? Définir par généralisation un « climat hivernal français » serait une erreur. Des différences notables entre les mois de la « saison froide » existent, tout comme entre des régions françaises qui peuvent être distantes de plus de mille kilomètres.

I - Lier le climat à la grippe

1 - Chercher un « temps à grippe »

Dans l'optique d'une recherche des paramètres incriminés dans le déclenchement épidémique, il convient de rappeler que la France, vaste territoire, n'est pas homogène du point de vue climatique. Si une certaine homogénéité globale saisonnière peut être entrevue, des différences notables peuvent être envisagées et aboutissent à un découpage climatique (réalisé de longue date par Météo France). Dans le cadre d'une étude relative à la grippe sur le territoire métropolitain, s'intéresser à la simple variabilité temporelle de facteurs hypothétiquement liés à l'incidence de phénomènes épidémiologiques masquerait des différences spatiales indéniables. Des facteurs de confusion liés à la mobilité (ie : aéroports par lesquels transitent nombre de virus) ou plus sociaux (périodes de vacances scolaires) ne doivent pas non plus être écartés. On comprend dès lors la nécessité d'une étude incluant tant la dimension spatiale que temporelle. Finalement, le but serait d'extrapoler des « types de temps » à partir des bulletins de Météo France, pour ensuite les croiser avec des variables socio-économiques.

1-1 Un hiver ? Des hivers !

Des différences notables dues au gradient d'océanité, à l'exposition des versants, à la latitude ou encore à l'altitude génèrent des caractéristiques climatiques régionales, locales qui s'exacerbent au cœur de l'été et de l'hiver. L'hiver est très doux sur les rivages occidentaux baignés par les eaux chaudes de la dérive nord atlantique. L'exposition au nord refroidit, celle du midi réchauffe. C'est ainsi que le versant nord des Cévennes est plus froid que le versant sud. De même, la Basse Provence de la Côte d'Azur, abritée du vent du nord par les Alpes et par les Cévennes, n'a pour ainsi dire pas « d'hiver ». Les vents du nord et de l'est, qui arrivent en France du nord en hiver des plaines glacées de l'Europe septentrionale, sont très froids. Ils contribuent à rendre rigoureux les climats de l'est et du nord du Massif central. Les vents de l'ouest et du sud-ouest, qui viennent de l'Atlantique, sont tièdes et humides ; comme ils règnent fréquemment sur nos côtes occidentales, ils les tempèrent pendant l'hiver. Le mistral, vent froid qui descend des Cévennes, refroidit la Provence Comtadine, tandis que le sirocco,

vent chaud de l'Afrique, la rend suffocante. Les pluies, en imprégnant l'atmosphère d'humidité, adoucissent la température.

1-2 La méthode des « types de temps »

P. Pedelaborde (1957) mit au point pour sa thèse une évaluation exhaustive des différents types de temps pouvant affecter le bassin parisien. Un travail considérable d'étude des cartes isobariques lui a permis d'isoler des cas de figures très distincts correspondant à des situations précises déterminant des *types de temps* : types cycloniques d'Ouest, types anticycloniques de Nord etc. ... L'apport principal de cette méthode réside dans le fait qu'à partir de simples bulletins météorologiques (qui existent tels quels depuis 1864) il devient possible d'extrapoler une quantification des températures extrêmes, de l'humidité relative, de l'insolation, de la nébulosité ou encore du vent. De la sorte, nous obtenons des informations chiffrées sur les principaux indices climatiques dont nous avons besoin pour tenter d'établir des corrélations avec les paramètres épidémiologiques. P. Pedelaborde mentionne, malgré tout, l'opposition hivernale nette entre un type de temps troublé et un type de temps anticyclonique continental. Fait que l'on interprète autrement aujourd'hui à la lueur de l'oscillation nord atlantique

Choix et pertinence des paramètres

- la pression au sol

Trois types de situations barométriques sont possibles : anticyclonique, dépressionnaire, marais barométrique (nommé dans nos calendriers climatiques « 1015 » en référence à l'isobare en hPa du même nom). Le passage d'un type de temps anticyclonique à un type de temps dépressionnaire s'accompagne généralement d'une modification d'autres paramètres climatiques comme l'humidité (par l'apparition de précipitations) ou encore la température (en baisse du fait de la diminution d'insolation par interception du couvert nuageux)

- le flux d'altitude à 500 hPa (5,5 Km d'altitude)

Il est défini par les isohypses de la carte 500 hPa des bulletins et traduit ensuite, dans nos calendriers, par une mesure en degré (ex : flux d'est = 90°, flux de sud = 190°, flux d'ouest = 270° etc.). Ces directions auront une influence directe sur la situation au sol : un flux de nord aura, par exemple, pour effet d'infléchir les températures au sol.

- la nébulosité

Elle est déduite des informations stationnelles et des cartes d'insolation réelle rapportée à la durée théorique d'ensoleillement entre lever et coucher du soleil. Trois classes ont été définies : ciel dégagé, demi couvert et couvert. La nébulosité a également un impact au sol important en termes de température et d'humidité. Un temps couvert est plus humide qu'un temps dégagé. Un temps couvert dans une situation anticyclonique indique une humidité saturante dans les basses couches avec présence de brumes et brouillards (le temps de Novembre). Enfin, une forte nébulosité induit généralement une baisse des températures sauf dans le cas d'un flux de sud.

- les précipitations

Deux situations sont possibles : précipitations observées et absence de précipitations observées. Ce paramètre a une signature forte du point de vue de l'humidité. Très logiquement un temps pluvieux est un temps très humide : on observe une humidité saturante de 100% au moment de la précipitation. Notons que nous avons inclus dans les précipitations ce que Météo France nomme « traces » dans les relevés. S'il ne s'agit pas nécessairement de précipitations induites par une perturbation, cela peut correspondre à de la rosée. La présence de précipitations « occultes » nous indique que le point de saturation de l'air a été atteint durant la période de mesure (en particulier la nuit) et que, par conséquent, l'humidité est très forte.

- la température

La question est ici de savoir si la température joue un rôle dans le déclenchement épidémique. Y a-t-il un seuil critique de température ou une moyenne sur un certain nombre de jours ? Pour ce faire, nous avons conservé les extremums de températures pendant la journée, en prenant soin d'exclure les massifs montagneux. Plus précisément, nous avons extrait les températures minimales et maximales observées sur le territoire métropolitain pour les relevés de 6h et 18h.

Les calendriers climatiques nous donnent une vue synthétique des différents paramètres et permettent d'appréhender les périodes de changement radical du temps, ou au contraire de permanence relative de paramètres météorologiques. Il est possible aussi de les mettre visuellement en relation avec l'épidémie (début, fin, pic d'intensité). La question posée

est celle d'un « type de temps » à grippe ou celle du changement de temps ou encore des rythmes de changement. Un changement intervenant après une longue période stable induit-elle le même stress sur l'organisme qu'une fréquence rapide de changements ?

Afin de répondre à cette question nous nous proposons de réaliser ces calendriers pour y voir clair pour chaque hiver de la base de données puis de faire les analyses statistiques afin de dégager les facteurs explicatifs (Annexes n° I).

1-3 ONA - Grippe : un lien suspecté entre l'activité du virus en France et le temps qu'il fait

Si une corrélation existe entre des paramètres climatiques et l'incidence des syndromes grippaux, l'oscillation nord atlantique doit inexorablement rentrer en ligne de compte. En effet, cette oscillation gouverne les caractéristiques générales des hivers européens, saison durant laquelle la grippe sévit en France (Hope-Simpson, 1981). C'est en partant de ce postulat que nous avons tenté d'établir des corrélations entre l'indice d'ONA (moyenne d'octobre à mars) et les données des épidémies annuelles de grippe depuis 1984. Des calculs de corrélations ont permis de mettre en lumière des liens bien connus et démontrés de longue date (ex. plus l'épidémie est longue plus le nombre de cas est élevé) mais n'ont pas dégagé de liens probants entre notre indice d'oscillation nord atlantique et des caractéristiques épidémiques : le seuil de significativité de ces corrélations étant fixé à 0,53 avec un risque d'erreur de 0,01.

Tab. n°4 : ONA/grippe : une relation statistique de faible significativité

| relation | Coefficient de corrélation |
|----------------------------------|----------------------------|
| ONA - pic | 0.131516656 |
| ONA - nombre de cas | 0.075799667 |
| Semaine de début - nombre de cas | -0.617699199 |
| Semaine de début - durée | -0.308254858 |
| ONA - durée | -0.034578085 |
| Durée - nombre de cas | 0.61798295 |

Les indices d'oscillation nord atlantique sont issus des banques de données de la NOAA. Il s'agit, dans le cas présent, de données mensuelles. Nous avons calculé un indice hivernal relatif à la période durant laquelle la grippe est observée (mois d'octobre à mars inclus) puis nous avons calculé des corrélations entre ces données d'ONA et les données relatives aux caractéristiques des épidémies : ces corrélations ne sont pas significatives ou faiblement. La qualité de la relation associant l'indice d'ONA avec la durée d'une épidémie, le nombre de cas observés ou encore le pic épidémique est de qualité médiocre (Tab. n°4 p.126). Par ailleurs, nous avons retrouvé des résultats déjà mis en lumière : plus l'épidémie démarre tôt et plus elle dure et plus le nombre de cas est élevé.

Face à l'absence de corrélation observable entre les données épidémiologiques et l'indice d'oscillation nord atlantique, un certain nombre de questions doivent être posées. Si les données du réseau Sentinelles sont perfectibles, les données d'ONA pourraient également poser problème et plus précisément la manière dont elles ont été utilisées. L'indice d'ONA, utilisé ici, correspond à une moyenne hivernale sur 6 mois. Or, à nos latitudes, au cours de ces six mois des circulations zonales alternent obligatoirement avec des circulations méridiennes. En période d'ONA positif (circulation zonale dominante), les épisodes de circulations méridiennes existent même s'ils sont peu nombreux. De même, en période d'ONA négatif (circulation méridienne dominante) les flux d'ouest se manifestent encore souvent. Donc, un pas de temps d'analyse moyenné sur six mois ne peut pas être valablement comparé à des données à pas de temps hebdomadaires comme celui des données Sentinelles. Il aurait été judicieux de pouvoir calculer des indices d'ONA sur la base de données hebdomadaires et, mieux encore, de pouvoir comparer la valeur de cet indice avant et après le début de l'épidémie afin de constater si un changement s'opère de ce point de vue. Malheureusement, nous ne disposons pas de cet indice à ce pas de temps. Par ailleurs, établir un lien entre des données d'épidémiologie et des valeurs d'ONA sur une vingtaine d'années peut être hasardeux : est-ce qu'un échantillonnage sur 20 ans permettrait de valider des corrélations ? Ce nombre d'années n'est-il pas insuffisant au regard de phénomènes climatiques d'oscillations pluri décennales ? Finalement, le paramètre « flux d'altitude » ne va-t-il pas nous permettre d'extrapoler une phase d'ONA. Le flux étant la signature d'une situation d'Oscillation Nord Atlantique : si l'on connaît le flux, ne connaît-on pas (même de manière non chiffrée) la tendance de l'ONA que nous pouvons ramener ensuite au pas de temps adéquat.

Ainsi, des données climatiques quotidiennes ont été obtenues à partir du service météorologique national français (Météo France) pour les 22 dernières saisons froides (1984-

1985 à 2006-2007). Les paramètres rassemblés étaient : température, direction de flux d'altitude, pression, précipitation et ensoleillement. Concernant les températures, tant pour les minima quotidiens que pour les maxima, nous avons réalisé la moyenne des mesures extrêmes des deux relevés quotidiens (en excluant les stations de montagne afin d'éviter des effets d'altitude). Pour la direction du flux nous avons distingué les composantes zonales des composantes méridiennes (un flux dont la direction ne provient pas de l'ouest au sens large est alors qualifié de méridien). Puisque l'indication numérique de pression atmosphérique n'est pas significative à l'échelle synoptique, nous n'avons indiqué qu'une tendance pour la France en séparant les hautes et les basses pressions. Finalement, à partir des deux derniers paramètres, la précipitation et l'ensoleillement, nous avons déduit de nouvelles variables : le taux d'humidité relative et la nébulosité. Pour améliorer leur significativité pour cette étude, nous avons divisé la France en deux moitiés : Nord et Sud. Pour chaque moitié du territoire, nous avons considéré trois niveaux de précipitation (la présence, l'absence, ou des traces). Avec 2/3 ou plus des stations enregistrant de la pluie, la moitié du territoire concerné est codé "présence de précipitations", entre 1/3 et 2/3 on aboutit à l'indication "traces" et "l'absence" si moins de 1/3 des stations ont été affectées par des pluies. Nous avons procédé de la même manière en analysant l'insolation sur les cartes météorologiques afin de déduire la nébulosité. Trois cas étaient possibles : couvert, à moitié couvert et clair. Une fois que toutes ces données quotidiennes ont été obtenues, chaque paramètre climatique a été moyenné sur une semaine (même si ces moyennes masquent des fluctuations temporelles et des particularités locales) pour faire correspondre les données d'incidence de grippe et les données « météo ». Les données manquantes en raison des grèves d'employés de Météo-France (la 7^{ème} et 8^{ème} semaine de 1989, la 5^{ème} semaine de 1990, la 44^{ème} et 45^{ème} semaine de 1995) ont été remplacées par des données équivalentes obtenues directement des offices régionaux de la météorologie ou par l'analyse des cartes météorologiques européennes. Il y a donc des lacunes dans les séries.

2- Redéfinir le déclenchement épidémique

2-1 Pourquoi changer de définition ?

Définir que nous sommes ou non en situation épidémique est une des tâches qui incombent aux organismes de surveillance. Basés sur des méthodes mathématiques, ces modèles de prévision et d'alerte vont déterminer une situation épidémique à partir du franchissement d'un

seuil quantitatif. Cette méthode n'est, malgré tout, pas parfaitement satisfaisante pour notre démarche. En effet, pour des raisons évidentes de communication, les réseaux de surveillance et d'alerte épidémiques ne peuvent « valider une situation comme épidémique » si le signal est trop faible. Ce n'est que lorsque l'épidémie est pleinement implantée sur le territoire que l'alerte est officiellement lancée. Comme nous l'avons envisagé dans la partie précédente, il conviendrait de définir le départ épidémique un peu plus précocement. Pourquoi ? L'analyse fine des différentes courbes d'incidence grippale en France depuis 1984 montre que le déclenchement officiel intervient souvent après une période plus ou moins longue d'accroissement notable du nombre de cas ou de l'incidence. Il est évident que si cette situation préalable ne peut aucunement être qualifiée d'épidémique, nous nous situons néanmoins dans la dynamique épidémique à proprement parler. Ainsi, s'il existe un lien entre des facteurs climato-météorologiques et le début de l'épidémie, nous ne pouvons l'appréhender qu'au moment où la courbe « accélère ». Parce que l'alerte est donnée après cette accélération, nous ne pouvons nous satisfaire de la date « officielle » de déclenchement et devons définir différemment, pour les besoins de ce travail, le début de l'épidémie. Nous ne reviendrons pas ici sur la méthode de Serfling présentée préalablement. Deux bémols sont apportés ici par l'analyse fine d'une courbe épidémique et d'une carte.

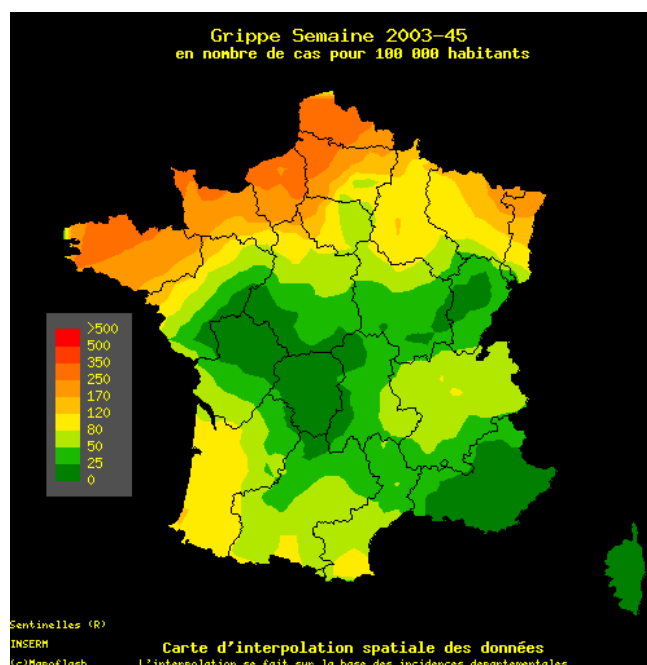


Fig. n°24 : La situation épidémique à la semaine 45 (mi-novembre) de 2003

(Sources : Sentinelles)

Tout d'abord cette estimation nationale, liée au seuil de Serfling, occulte des réalités régionales différentes : certaines régions sont avant d'autres en situation épidémique depuis plusieurs semaines. C'est le cas sur la Fig. n°24 p.128 où l'épidémie semble se déclarer sur un quart nord-ouest tandis que les autres régions semblent encore à l'abri.

Ensuite, si le seuil est réellement franchi, la courbe d'incidence était déjà ascendante. En effet, il s'écoule parfois entre 2 et 3 semaines entre le démarrage de l'accroissement de la courbe d'incidence et le franchissement du seuil (Fig. n°25). Il serait nécessaire d'envisager différemment le départ épidémique comme la période d'accélération nette de la courbe d'incidence.

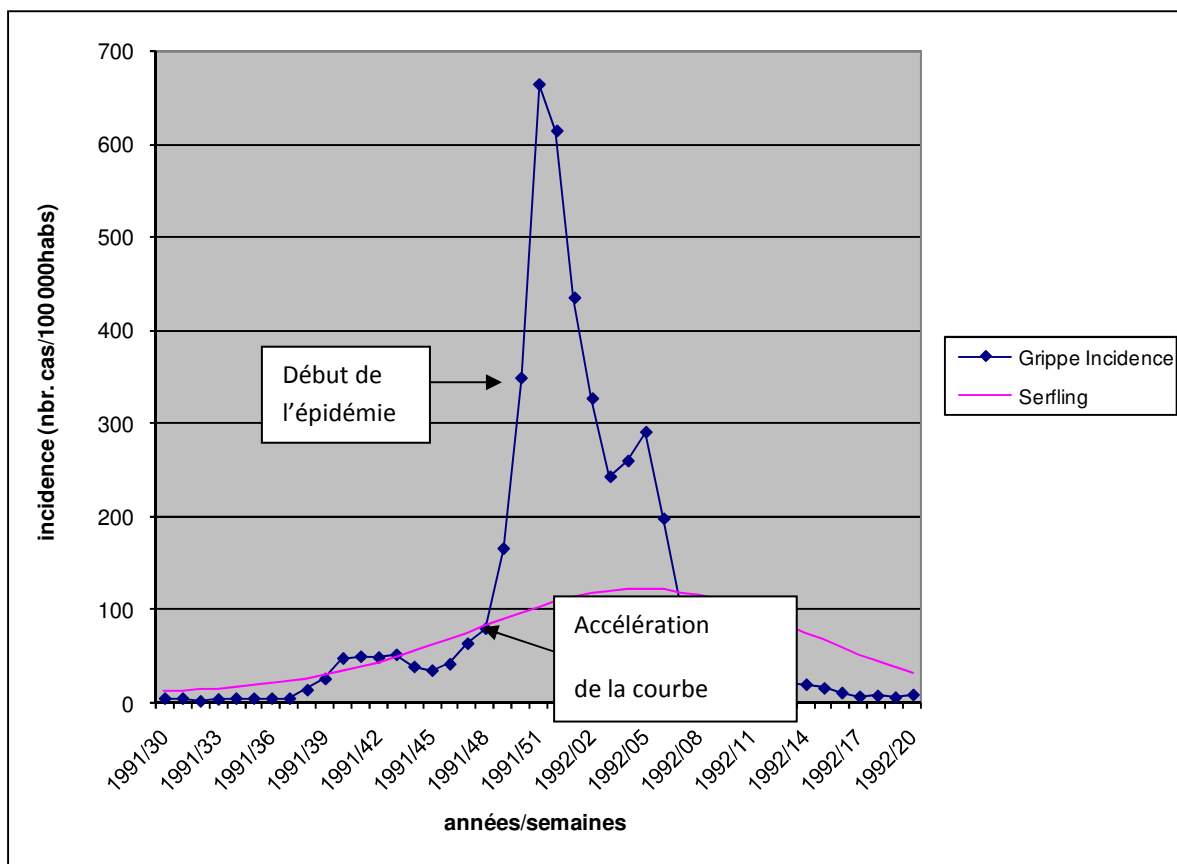


Fig. n°25 : L'incidence grippale déjà ascendante avant le dépassement du Serfling

Dans l'exemple de la saison 1991-1992, nous notons que la courbe accélère déjà entre les semaines n°47 et n°48 (fin novembre). Or, le réseau Sentinelles nous indique la semaine n°49 (début décembre) comme dépassement du seuil épidémique.

2-2 L'accélération de la courbe d'incidence comme critère de départ épidémique

Pour chaque semaine, a été calculée l'évolution de l'incidence grippale par rapport à la semaine précédente (Δi). Puis, nous avons ramené cette évolution sur au taux d'incidence observé afin d'obtenir une valeur relative ($\Delta i/i$). En étudiant la saison 1984-1985, nous constatons que la semaine n°3 (janvier) marque un net bond des taux d'incidence avec un gain de 212 cas pour 100 000 habitants par rapport à la semaine précédente mais c'est surtout la valeur de l'accroissement relatif qui nous impose de choisir la semaine n°3 comme semaine de départ : $\Delta i/i \approx 0.54$ (Tab. n°5).

Tab. n°5 : Détermination de l'accélération de la courbe d'incidence
pour la saison 1984 - 1985

| année/semaine | Incidence Grippale | Δi | $\Delta i/i$ |
|----------------|-----------------------|------------|--------------------|
| 1984/44 | 125 | | |
| 1984/45 | 246 | 121 | 0.491869919 |
| 1984/46 | 143 | -103 | -0.72027972 |
| 1984/47 | 119 | -24 | -0.20168067 |
| 1984/48 | 134 | 15 | 0.111940299 |
| 1984/49 | 173 | 39 | 0.225433526 |
| 1984/50 | 212 | 39 | 0.183962264 |
| 1984/51 | 177 | -35 | -0.19774011 |
| 1984/52 | 152 | -25 | -0.16447368 |
| 1985/01 | 153 | 1 | 0.006535948 |
| 1985/02 | 178 | 25 | 0.140449438 |
| 1985/03 | 390 | 212 | 0.543589744 |
| 1985/04 | 761 | 371 | 0.487516426 |
| 1985/05 | 1145 | 384 | 0.335371179 |
| 1985/06 | 1018 | -127 | -0.12475442 |
| 1985/07 | 858 | -160 | -0.18648019 |
| 1985/08 | 705 | -153 | -0.21702128 |
| 1985/09 | 675 | -30 | -0.04444444 |
| 1985/10 | 638 | -37 | -0.05799373 |
| 1985/11 | 500 | -138 | -0.276 |
| 1985/12 | 445 | -55 | -0.12359551 |
| 1985/13 | 357 | -88 | -0.2464986 |

Finalement, nous établirons la valeur seuil d'un $\Delta i/i \approx 0.3$ afin de caractériser le départ réel de l'épidémie. Un facteur de confusion va cependant entrer en ligne de compte : les vacances scolaires. Notées en rouge sur nos tableaux, elles ont pour effet de faire stagner les taux d'incidence voire de les faire baisser. La grippe étant une maladie dont la propagation se caractérise par une transmission très importante chez les enfants, la baisse des contacts en milieu scolaire favorise une diminution des possibilités de transmission et donc du nombre de cas observés. Le problème réside dans le fait qu'une épidémie va pouvoir démarrer, au sens d'un début d'inflexion de la courbe d'incidence, préalablement à une période de vacances scolaires puis stagner avant de redémarrer. Dans ce cas, où doit-on placer le départ de l'épidémie ?

Validation du critère de départ épidémique

L'observation, préalable nécessaire dans une démarche exploratoire, ne suffit pas en soit. Valider selon des modalités mathématiques le critère d'accélération de la courbe d'incidence constitue une étape obligatoire. De ce fait, il sera préalablement nécessaire de revenir sur un certain nombre de termes servant à caractériser un critère.

Le critère retenu sera celui d'un $\Delta i/i > 0,3$. Malgré tout, des franchissements de seuil peuvent être observés en période hors épidémique. Le tableau n°5 p.130 montre que lors de la semaine 45 de l'année 1984, la valeur du critère avoisine les 0,5. Nous considérerons qu'il s'agit ici d'une fausse alerte. Dans le but d'enrayer ces franchissements intempestifs qui, à la longue, fausseraient notre critère, nous ajouterons à partir de là une deuxième condition selon laquelle le franchissement de ce seuil doit s'opérer durant deux semaines consécutives. Ainsi, deux cas de figure seront possibles : le franchissement durant deux semaines consécutives (F+) et le non franchissement (F-) de ce seuil. De même, pour être viable et constituer un cas réellement positif, ce franchissement doit s'opérer dans un laps de temps raisonnable par rapport au seuil du Serfling qui reste malgré tout la norme. Nous prendrons dans cette étude un intervalle compris entre 2 et 4 semaines avant le franchissement du Serfling. Deux cas seront possibles : franchissement du Serfling dans l'intervalle considéré (S+) ou absence de franchissement du Serfling (S-). Quatre cas seront alors proposés permettant les calculs de sensibilités, spécificités, valeurs prédictives positives et négatives (Tab. n°6 p.132).

Tab. n°6 : Les quatre cas de figure permettant les calculs de qualité du critère

| | Dépassement du Serfling sous X semaines | Non dépassement du Serfling sous X semaines |
|---------------------------------------|--|--|
| Franchissement du seuil de 0,3 | F+/S+ (a) | F+/S- (b) |
| Non franchissement du seuil de 0,3 | F-/S+ (c) | F-/S- (d) |

Calcul de la Sensibilité (Se) du critère :

- $Se = a / (a+c)$

Calcul de la Spécificité (Sp) du critère :

- $Sp = d / (b+d)$

Pour être viable, notre critère doit être sensible et spécifique (i.e. les valeurs de Se et Sp doivent être proches de 1).

La valeur prédictive positive (VPP) va nous permettre de mesurer la qualité du critère. Elle indique la probabilité que l'épidémie se déclenche sachant qu'un franchissement du seuil a été constaté.

- $VPP = a / (a+b)$

La valeur prédictive négative (VPN) nous indiquera, quant à elle, la probabilité qu'une épidémie ne se déclenche pas sachant que le franchissement du seuil n'a pas été observé.

- $VPN = d / (c+d)$

Notre rôle va être de déterminer le meilleur seuil d'accélération possible de la courbe d'incidence : c'est-à-dire, déterminer le seuil qui offrira le meilleur compromis entre sensibilité et spécificité. Afin de réaliser cette opération, nous avons été amenés à manier un logiciel permettant la rédaction de scripts qui automatisent cette procédure. Des boucles de calculs seront ainsi générées et permettront de faire varier les deux paramètres pour affiner notre critère : la distance au Serfling (intervalle 2 à 4 semaines) et la valeur du seuil d'accélération (intervalle de 0,2 à 0,35).

Le logiciel employé sera, dans le cas présent, Matlab 7. Un léger problème méthodologique s'est posé quant à la conversion des données initialement au format XLS. Les données Excel n'étant pas immédiatement reconnues sous Matlab, il convient de convertir les données Excel au format TXT tout en prenant soin d'homogénéiser les nombres de colonne en respectant les séparateurs (*i.e.* : des tabulations).

De ce fait, nous avons intégré sous Matlab deux matrices distinctes : la première fait correspondre à une semaine donnée, les incidences hebdomadaires (i), la variation d'incidence (Δi), la variation relative ($\Delta i/i$) et les données climatiques correspondantes. La seconde matrice, plus réduite, nous renseigne exclusivement sur la semaine de franchissement du seuil Serfling. C'est sur la base de ces deux matrices que sera édité le script : un exemplaire de celui-ci sera fourni en annexe. (Annexe n° 3)

Schématiquement, les buts de ce programme sont les suivants :

- rechercher des éléments supérieurs à la valeur seuil dans la colonne correspondante de la matrice,
- considérer des cas positifs lors de l'observation du franchissement de seuil durant deux semaines consécutives (événement F+),
- identifier de ce seuil comme intervenant durant le nombre de semaine précédent le franchissement du seuil Serfling. (cas F+/D+),
- rechercher des cas pour lesquels un franchissement de seuil sans déclenchement épidémique sous X semaines. (cas F+/D-),
- rechercher des événements F-/D+ (*i.e.* Nbre d'épidémies – Nbre de cas F+/D+),
- rechercher des événements F-/D- (*i.e.* Nbre de semaines – Nbre d'épidémies – Nbre de D-/F+),
- calculer des sensibilités, spécificités, VPP, VPN ... et ce pour diverses valeurs de variation relative de l'incidence.

Résultats

Que nous choissions 2, 3 ou 4 semaines précédant le franchissement du seuil Serfling, une valeur de critère s'impose comme présentant le meilleur compromis sensibilité-spécificité : un seuil de $\Delta i/i$ de 0,32 (Tab n°7, p. 134). En effet à partir de ce seuil, et en dépit de la distance au Serfling, nous obtenons des sensibilités et des spécificités maximales. La courbe ROC (pour *Receiver Operating Characteristics*) permet une interprétation visuelle rapide de ce

résultat. La sensibilité et la spécificité sont liées de manière inverse. Malgré tout, devant le peu de valeurs employées, la courbe ROC serait véritablement saccadée, donc visuellement inintéressante. Nous avons préféré mettre en relation sur un même graphique la sensibilité et la spécificité en fonction de l'évolution du critère. (Fig. n°26 p.135)

Tab. n°7 : Variation de Se et Sp en fonction de la valeur du critère et de la distance au Serfling

| | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2 semaines avant Serfling | | | | | | | | |
| $\Delta i/i$ | 0,2 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 |
| Sensibilité | 0,9048 | 0,9048 | 0,9048 | 0,9048 | 0,9048 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 |
| Spécificité | 0,8792 | 0,8893 | 0,9195 | 0,9195 | 0,9497 | 0,9497 | 0,9698 | 0,9698 |
| $\Delta i/i$ | 0,28 | 0,29 | 0,3 | 0,31 | 0,32 | 0,33 | 0,34 | 0,35 |
| Sensibilité | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8095 | 0,7619 | 0,6667 |
| Spécificité | 0,9698 | 0,9799 | 0,9799 | 0,9799 | 0,9899 | 1 | 1 | 1 |
| 3 semaines avant Serfling | | | | | | | | |
| $\Delta i/i$ | 0,2 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 |
| Sensibilité | 0,9524 | 0,9524 | 0,9524 | 0,9524 | 0,9048 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 |
| Spécificité | 0,8523 | 0,8658 | 0,906 | 0,906 | 0,9329 | 0,9329 | 0,9597 | 0,9597 |
| $\Delta i/i$ | 0,28 | 0,29 | 0,3 | 0,31 | 0,32 | 0,33 | 0,34 | 0,35 |
| Sensibilité | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8095 | 0,7619 | 0,6667 |
| Spécificité | 0,9597 | 0,9732 | 0,9732 | 0,9732 | 0,9866 | 1 | 1 | 1 |
| 4 semaines avant Serfling | | | | | | | | |
| $\Delta i/i$ | 0,2 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 |
| Sensibilité | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,9048 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 |
| Spécificité | 0,8322 | 0,849 | 0,8993 | 0,8993 | 0,9161 | 0,9161 | 0,9497 | 0,9497 |
| $\Delta i/i$ | 0,28 | 0,29 | 0,3 | 0,31 | 0,32 | 0,33 | 0,34 | 0,35 |
| Sensibilité | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8571 | 0,8095 | 0,7619 | 0,6667 |
| Spécificité | 0,9497 | 0,9664 | 0,9664 | 0,9664 | 0,9832 | 1 | 1 | 1 |

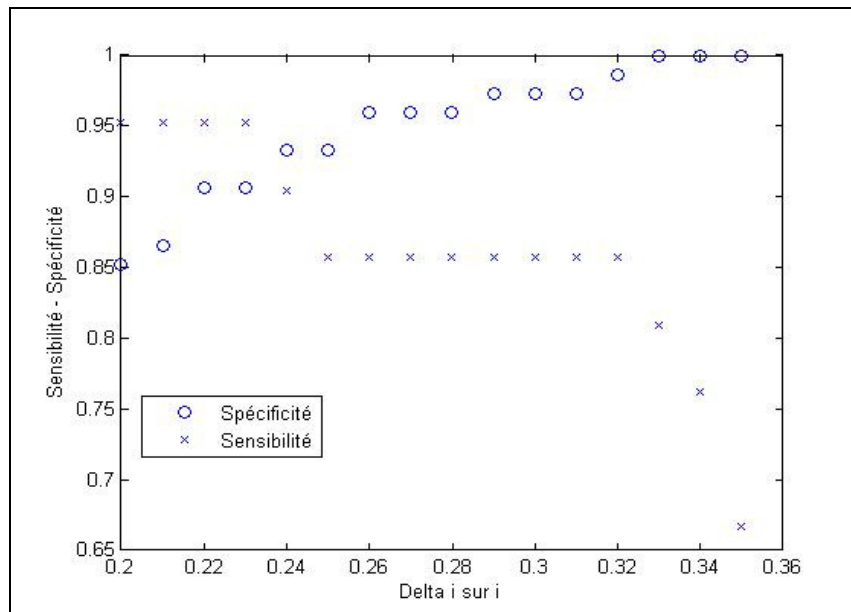


Fig. n°26 : Evolution de Se et Sp en fonction de $\Delta i/i$ (distance au Serfling : 3 semaines)

Nous prendrons soin de fournir en annexe (Annexe n°X) les sorties graphiques réalisées sous Matlab mettant en lumière, tour à tour, la sensibilité puis la spécificité en fonction de chaque valeur de $\Delta i/i$. Ainsi, à deux semaines du Serfling (laps de temps pour lequel nous obtenons les meilleures valeurs), nous obtenons pour un $\Delta i/i$ de 0,32, une sensibilité de 0,86 et une spécificité de 0,99. S'il est vrai, qu'une valeur $\Delta i/i$ de 0,24 offrait semble-t-il un bon compromis sensibilité-spécificité, nous avons préféré 0,32 afin de privilégier la spécificité du critère tout en conservant une sensibilité acceptable. Le seuil visuel de 0,3 s'en trouve ici conforté. Le critère d'accélération de la courbe de 0,32 est donc sensible et très spécifique. Nous avons privilégié la spécificité du critère afin de ne détecter que les réels déclenchements épidémiques.

La valeur prédictive positive (VPP) de ce critère est de 0,86 tandis que la valeur prédictive négative (VPN) est de 0,98. Nous pouvons alors qualifier ce critère de départ épidémique comme relativement fiable.

Dès lors, nous prendrons le parti d'envisager le départ épidémique non plus comme le franchissement du seuil Serfling mais comme le moment où la droite d'incidence accélèrera suffisamment pendant deux semaines consécutives. Nous obtenons ainsi un gain de 2 semaines en moyenne avant le déclenchement du Serfling ce qui nous permet de coller plus à la réalité climatique hypothétiquement liée au déclenchement épidémique.

2-3 Répartition temporelle du déclenchement épidémique

Si les épidémies saisonnières de grippe se déclenchent entre octobre et mars, leur répartition temporelle n'est pas uniforme. Deux pôles temporels se distinguent nettement (Fig. n°27).

En effet, deux mois furent nettement plus touchés par le déclenchement épidémique que les autres : novembre et janvier. Si un ou plusieurs facteurs climatiques interviennent, il s'agira de trouver les mécanismes météorologiques communs aux mois de novembre et janvier. Pour Pédelaborde (1957), « novembre n'est qu'une alternance désordonnée de coups de vents froids, de souffles tièdes qui pourrissent les appartements mal chauffés (...) ce mois est aussi troublé (...) aussi humide et aussi sombre que les mois d'hiver ». Il mentionne, en outre, que « janvier est le mois le plus troublé par les cyclones d'ouest. L'alternance des types zonaux et des types continentaux détermine surtout le caractère varié et morcelé de ce mois (...) l'impossibilité de distinguer des périodes de temps durables et bien caractéristiques ». En somme, un point commun fondamental entre novembre et janvier est cette alternance incessante de types de temps calmes et perturbés. Ces alternances devraient pouvoir être visibles sur nos calendriers climatiques.

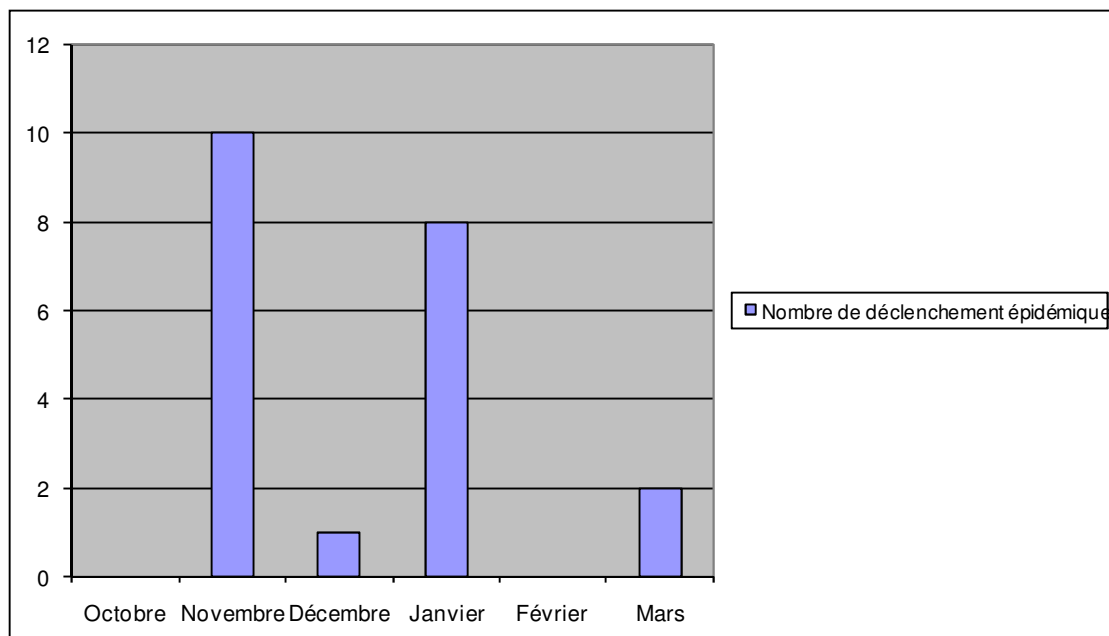


Fig. n°27 : Novembre et janvier, les deux mois préférentiels du déclenchement épidémique

Conclusion partielle

La méthode des « types de temps » a pour objet de proposer un film climatique. Les calendriers climatiques offrent une vision synthétique du temps qu'il fait. Le problème principal réside dans le fait que le dépassement du Serfling s'opère parfois plusieurs semaines après le début d'inflexion de la courbe d'incidence. Si cette inflexion est stimulée par un ou des facteurs climatiques alors il convient de s'intéresser à cette inflexion plutôt qu'au dépassement du Serfling. De ce fait, outre la constitution des calendriers climatiques, il a fallu déterminer un critère acceptable de déclenchement épidémique basé cette fois-ci sur l'accélération de la courbe (ou plutôt la variation relative d'incidence : $\Delta i/i$). Une valeur de ce critère de 0,32 durant deux semaines consécutives semble être un critère acceptable ($Se=0,86$; $Sp=0,99$; $VPP=0,86$; $VPN=0,98$). Nous pouvons désormais observer les conditions climato-météorologiques antérieures à ce nouveau critère de déclenchement.

3 - Analyse de l'évolution climatique « paramètre par paramètre » en période pré-épidémique

La définition d'un déclenchement épidémique antérieur à ce que la méthode de Serfling propose nous permet d'accéder aux variables climatiques les plus vraisemblablement impliquées dans ce dit déclenchement. Il va s'agir, dans cette partie, d'étudier l'évolution des paramètres climatiques durant les deux semaines pré-épidémiques afin d'observer si des tendances générales se dégagent sur les vingt années étudiées. Dans un second temps, il conviendra de mesurer la qualité de la relation statistique entre les paramètres climatiques ci-étudiés et les données épidémiologiques. Rappelons préalablement que les paramètres météorologiques envisagés sont : la température, la direction du flux d'altitude, la nébulosité, les précipitations ainsi que les températures minimales et maximales.

3-1 La température : une baisse systématique en période pré-épidémique

Nous avons confirmé que tous les départs épidémiques ont été précédés par une baisse de température intervenant dans les quatre semaines précédant le franchissement du seuil. La majorité des baisses thermiques se termine entre une et trois semaines avant le déclenchement épidémique, mais quelques unes continuent jusqu'à 2 semaines après celui-ci. Pour les 22 saisons, des baisses de température pré-épidémiques de 5 à 15 ° C ont été notées et ont duré de 1 à 9 semaines. La baisse thermique moyenne par semaine est de 3,1 ° C (écart type = 5,0). Par exemple, la Figure 28 p.139 met en relation des variables climatiques et épidémiologiques pour la saison 1999-2000. Les courbes vertes et rouges correspondent aux températures moyennes minimales et maximales tandis que la courbe bleue présente l'évolution de l'incidence des syndromes grippaux. Nous pouvons observer une chute de presque 10°C pour les températures minimales et maximales (flèches rouges et vertes) qui s'est arrêtée dans l'intervalle de trois semaines (mis en évidence en vert) avant la sortie épidémique. Le seuil est finalement franchi à la fin de cet intervalle durant la 48^{ème} semaine. La baisse de température se termine à la 46^{ème} semaine (flèche noire) : deux semaines avant le franchissement du seuil. Une baisse de température n'implique pas nécessairement des températures finales extrêmement basses. Les moyennes des températures des semaines précédant les déclenchements épidémiques présentent une forte variabilité : de -7,6°C durant

la saison 1984-1985 à $+6,6^{\circ}\text{C}$ pour la saison 1994-1995. Pour les 22 baisses de température précédant les départs épidémiques, dix ont montré des valeurs négatives en fin de baisse, cinq des valeurs entre 0°C et $+1^{\circ}\text{C}$ et sept des valeurs supérieures à $+1^{\circ}\text{C}$. Nous devons remarquer que, même si les valeurs moyennes présentent une valeur positive, des températures négatives sont toujours observées à un endroit du territoire français. Finalement, nous ne pouvons pas isoler un seuil de température à l'origine du déclenchement épidémique. Les données brutes ont montré qu'une baisse température est observée durant les deux semaines précédant le déclenchement pour 18 des 22 épidémies. Toutes les épidémies connaissent une baisse thermique significative dans un laps de temps de 4 semaines avant le déclenchement. Bien entendu, plus une baisse est rapide, plus la perte thermique doit être importante. Il va dès lors s'agir de caractériser l'importance de cette baisse de température sur le déclenchement épidémique désormais perçu comme l'accélération de la courbe d'incidence. A la manière de la validation du critère d'accélération, nous allons essayer de mesurer la sensibilité du franchissement du seuil (F+) à une baisse de température dans un intervalle de semaine pré-épidémique. Nous considérerons cet intervalle comme ne pouvant être supérieur à 4 semaines. En effet, nous envisagerons qu'un événement climatique se déroulant au-delà de cet intervalle n'aura qu'une influence négligeable sur le départ de l'épidémie. Ainsi, quatre cas de figures seront proposés (Tab. n°8 p.140).

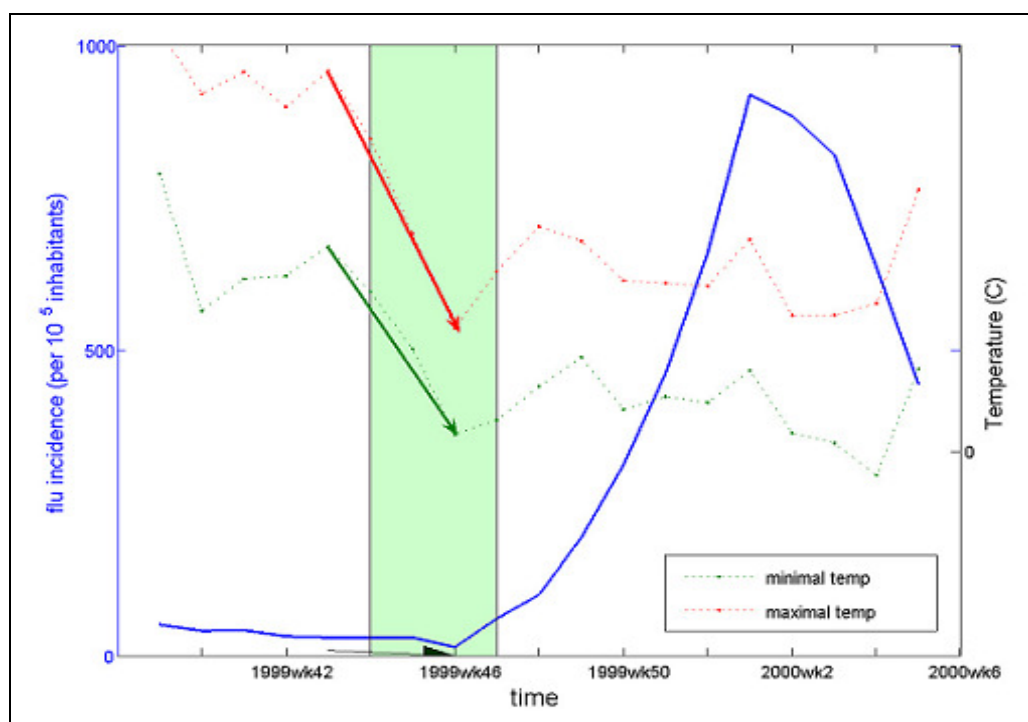


Fig. n°28 : Baisse de température antérieure au déclenchement épidémique lors de la saison 1999-2000

La procédure de comptage de ces quatre cas de figure se fera également par le biais de l'édition d'un script sous Matlab. Schématiquement, le nombre F+/B+ va correspondre aux déclenchements épidémiques précédés d'une baisse de température, le nombre F+/B- correspond aux épidémies non précédées par une baisse de températures sous X semaines. Le nombre de F-/B+ correspondra aux semaines de baisse de températures qui ne sont point suivies par un déclenchement épidémique. Enfin, le nombre F-/B- mettra en lumière les semaines où le seuil n'est pas franchi et qui ne sont pas précédées par une baisse de température.

Tab. n°8 : Evolution thermique et départ épidémique

| | Franchissement du seuil de d'accélération | Non franchissement du seuil |
|-----------------|---|-----------------------------|
| Baisse de T ° c | F+/B+ | F-/B+ |
| Hausse de T ° c | F+/B- | F-/B- |

En prenant le seuil de 0,32 que nous avons décidé d'employer dans cette étude, nous obtenons les résultats suivants :

- F+/B+ = 17
- F+/B- = 2
- F-/B+ = 196
- F-/B- = 12

Le nombre des F-/B+ peut paraître de prime abord élevé or il correspond aux non franchissements de seuil précédés par une baisse des températures et ce, sur les 21 années étudiées. Le nombre de semaines entrant dans cette configuration est dès lors important.

Sensibilité, Spécificité, VPN, VPP

Dans cet exemple (*i.e.* seuil d'accélération de 0,32 durant deux semaines consécutives et baisse de température sous 2, 3, 4 semaines) nous obtenons les résultats suivants.

- baisse de température dans les 2 semaines :

Se = 0,79 ; Sp = 0,15 ; VPP = 0,07 ; VPB = 0,1

- baisse de température dans les 3 semaines :

Se = 0,89 ; Sp = 0,06 ; VPP = 0,08 ; VPB = 0,14

- baisse de température dans les 4 semaines :

Se = 1 ; Sp = 0,02 ; VPP = 0,09 ; VPB = 0

Si nous observions visuellement sur les graphiques une baisse de température dans les X semaines avant le départ épidémique, la sensibilité confirme cette observation. Huit épidémies sur dix connaissent une baisse de température dans les deux semaines précédant l'épidémie. Malgré tout, force est de constater la médiocre sensibilité de ce critère. Les valeurs de spécificité si peu significatives amènent à s'interroger sur un certain nombre de points. Tout d'abord, une faible spécificité s'explique par le fait qu'il n'y a pas qu'une baisse de température par saison froide. Il serait peut-être nécessaire ultérieurement de compléter ce critère par une intensité de baisse de température (de combien de °C faut-il que soit la baisse ?) ou par le franchissement d'un seuil thermique. Si dans notre programme, nous avons négligé les hausses de températures inférieures à 1°C entre deux semaines de baisse ; doit-on considérer une baisse de 1°C comme significative du point de vue climatique et ayant une quelconque influence sur la grippe ? Rien n'est moins sûr.

Odds ratio

Il va s'agir de déterminer le risque qu'une exposition à une baisse de température engendre une épidémie. Nous situant plus dans le cadre d'une étude cas-témoins, l'odds ratio propose une bonne approximation du risque relatif. L'odds ratio correspond au rapport des probabilités d'exposition chez les malades et les témoins.

Calcul du ratio

Probabilité « d'exposition des cas » / Probabilité « d'exposition des témoins », soit dans le cas présent : $(F+/B+ * F-/B-) / (F-/B+ * F+/B-)$. Ce ratio est ensuite fourni avec un intervalle de confiance de 95%. Nous allons proposer un calcul de ratio pour diverses valeurs de seuil d'accélération ($\Delta i/i$) en considérant la baisse de température effective sous 1,2 et 3 semaines (Tab. n°9 p.142). Obtenant des valeurs de $F+/B- = 0$ à 4 semaines, nous aboutirions à des valeurs « infinies » de l'odds ratio.

Tab. n°9 : Odds ratio en fonction de la valeur de seuil d'accélération en considérant la baisse de température sous 1, 2 et 3 semaines

| Valeur de seuil d'accélération | 0,25 | 0,28 | 0,32 | 0,35 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Odds ratio (baisse de T°C sous 1 semaine) OR (IC 95%) | 0,76 (0,32 ; 1,83) | 0,65 (0,26 ; 1,41) | 0,53 (0,21 ; 1,36) | 0,86 (0,28 ; 2,63) |
| Odds ratio (baisse de T°C sous 2 semaines) OR (IC 95%) | 0,8 (0,26 ; 2,51) | 0,7 (0,2 ; 2,22) | 0,65 (0,2 ; 2,08) | 0,64 (0,17 ; 2,41) |
| Odds ratio (baisse de T°C sous 3 semaines) OR (IC 95%) | 1,42 (0,18 ; 11,4) | 0,55 (0,21 ; 2,65) | 0,52 (0,11 ; 2,52) | 0,36 (0,09 ; 1,79) |

Une baisse de température, qu'elle ait lieu sous 1, 2 ou 3 semaines, n'augmente que faiblement le risque de franchir le seuil d'accélération de la courbe. En moyenne, on peut considérer que l'on a 0,7 fois plus de chance de franchir un seuil lors d'une baisse de température sous x semaines. Les odds ratio proche de 1 sont peu significatifs d'autant que les intervalles de confiance à 95 % calculés par la méthode de Woolf (méthode des logits), pour une probabilité $\alpha = 0,05$, sont tous plus ou moins centrés sur 1. Malgré tout, une certaine évolution peut être dégagée selon que l'on fait varier le critère d'accélération sous 1, 2 ou 3 semaines (Fig. n°29 p.143).

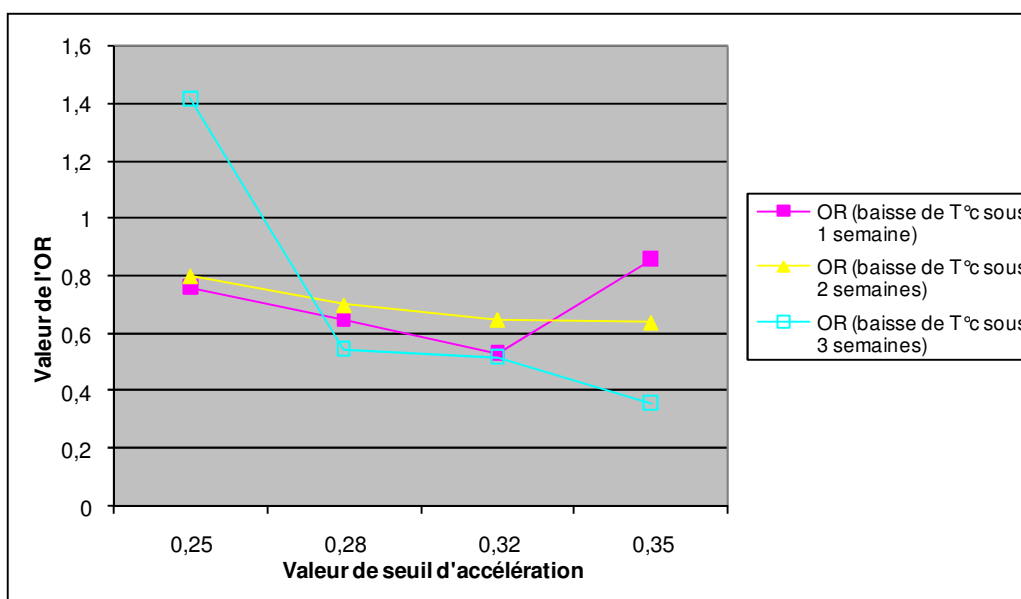


Fig. n°29 : Evolution des odds ratio en fonction de la valeur du critère d'accélération

La faible significativité des odds ratio ainsi calculés n'est que le reflet une fois de plus de la multiplicité des baisses de températures sur l'ensemble des saisons froides. Peut-être serait-il nécessaire d'affiner le critère de baisse de température en définissant une nouvelle valeur seuil.

Corrélations températures-incidence

Le coefficient de corrélation linéaire de Bravais Pearson permet de mesurer l'intensité de la liaison entre deux caractères quantitatifs. Nous allons dans ce cadre tenter d'étudier la qualité de la relation entre le taux d'incidence grippale hebdomadaire et les moyennes de températures hebdomadaires calculées sur toutes les semaines produites dans nos calendriers climatiques. Il serait de plus intéressant de quantifier la qualité de la relation entre une incidence grippale à une semaine S et une température moyenne à une semaine S-1, voire S-2. Nous avons généralement 25 variables, ainsi, la table de Bravais Pearson nous indique un seuil de significativité de 0.32 avec un risque d'erreur de 0.1.

L'étude des coefficients de corrélation met en avant trois aspects importants (Fig. n°30 p.144). Tout d'abord, la différence de température entre le jour et la nuit aurait un lien limité avec l'incidence. Deuxièmement, les coefficients de corrélation peuvent être qualifiés de significatifs et gagnent en significativité jusqu'à 2 semaines avant le début de l'épidémie. Enfin, la corrélation est très majoritairement négative : la relation est inverse, l'incidence

augmente à mesure que la température baisse. Pour chacun des paramètres, hormis la température, nous allons calculer le rapport d'une situation donnée sur le nombre total de jours de la semaine. Nous envisageons 4 types de mesures : un indice « anticyclone » (nombre de jours anticycloniques sur 7), un indice de « zonalité » (nombre de jours de flux zonal sur 7), un indice de « précipitation » (nombre de jours de pluie sur 14), un indice de « nébulosité » (nombre de jours couverts sur 14). Dans les deux derniers cas, le rapport est sur 14 car le nord et le sud sont distingués préalablement : notons que les « traces de précipitations comptent pour 0,5 tout comme un temps «demi couvert ». Ainsi, nous avons étendu cette procédure à l'ensemble des calendriers climatiques. Ces indices sont compris entre 0 et 1. La valeur moyenne est donc de 0.5. Si le coefficient est compris entre 0,43 et 0,57, l'information est celle d'une certaine variabilité mais il n'est pas possible de discerner une réelle tendance hebdomadaire. Par contre, lors de valeurs >0.57 ou <0.43 l'information devient plus nette. Par exemple, un indice de zonalité de 0.14 indique une semaine aux flux méridiens majoritaires, un indice anticyclonique de 0 indique une forte activité dépressionnaire, enfin un indice de nébulosité de 0.93 exprimera un ciel très couvert durant la semaine ...

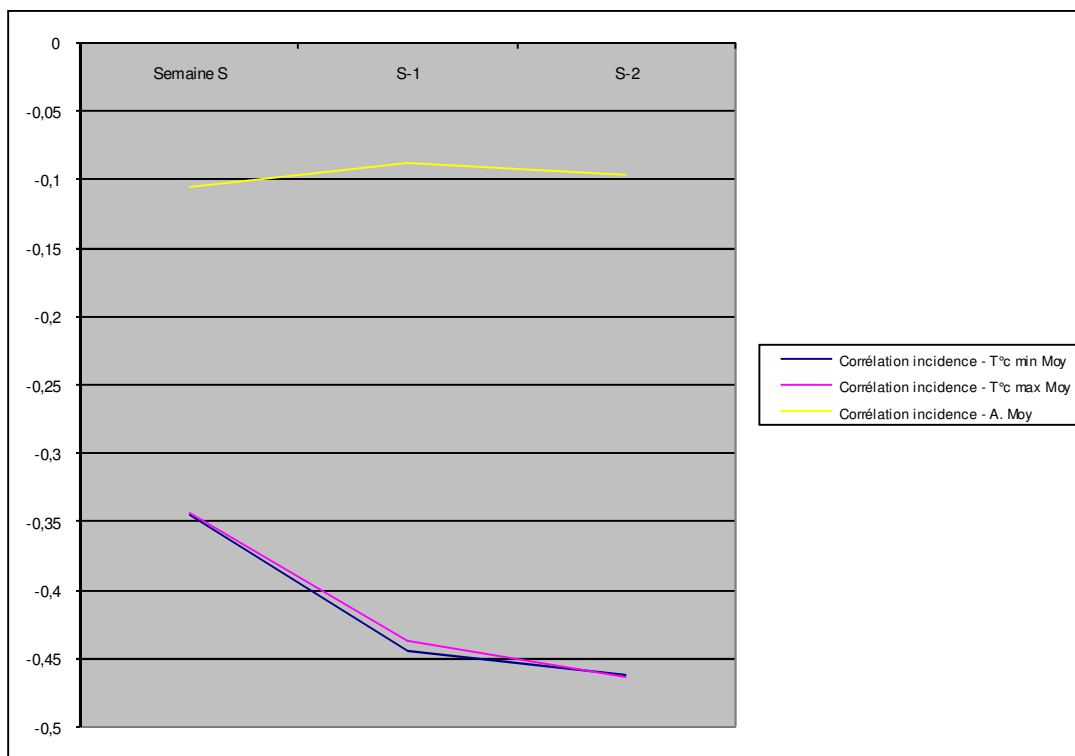


Fig. n°30 : Incidence – températures, une relation significative

3-2 Le flux d'altitude : l'alternance suspectée

Concernant le flux d'altitude, la forte proportion de déclenchements épidémiques en novembre et en janvier, mois caractérisés par une très forte alternance de type de temps, ne devrait pas nous faire distinguer de type de flux majoritaire. Nous allons opérer un comptage du nombre de jours de flux zonaux et méridiens en semaine S et durant les 2 semaines précédentes (Tab. n°10.). Nous tenterons d'observer un type de flux majoritaire de la période pré-épidémique. Une information essentielle peut être extraite du tableau : il n'y a pas de flux d'altitude type lors du déclenchement de l'épidémie de grippe et/ou durant les 2 semaines précédentes. Essayons nous dès lors à l'exercice de la typologie et classons ses périodes pré épidémiques en 3 groupes distincts (Tab. n°11 p.146).

Tab. n°10 : Orientation du flux d'altitude pendant la semaine de départ épidémique et durant les 14 jours précédents

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| Saison | 84-85 | | 85-86 | | 86-87 | | 87-88 | |
| Flux | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien |
| durant la semaine S | 4 | 3 | 6 | 1 | 2 | 5 | 2 | 5 |
| durant les 14 j. précédents | 2 | 12 | 13 | 1 | 8 | 6 | 5 | 9 |
| Saison | 88-89 | | 89-90 | | 90-91 | | 91-92 | |
| Flux | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien |
| durant la semaine S | 4 | 3 | 3 | 4 | 0 | 7 | 0 | 7 |
| durant les 14 j. précédents | 10 | 4 | 5 | 9 | 7 | 7 | 5 | 9 |
| Saison | 92-93 | | 93-94 | | 94-95 | | 95-96 | |
| Flux | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien |
| durant la semaine S | 6 | 1 | 7 | 0 | 5 | 2 | 5 | 2 |
| durant les 14 j. précédents | 5 | 9 | 1 | 13 | 10 | 4 | 8 | 6 |
| Saison | 96-97 | | 97-98 | | 98-99 | | 99-00 | |
| Flux | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien |
| durant la semaine S | 6 | 1 | 3 | 4 | 1 | 6 | 4 | 3 |
| durant les 14 j. précédents | 9 | 5 | 5 | 9 | 10 | 4 | 3 | 11 |
| Saison | 00-01 | | 2001-02 | | 2002-03 | | 2003-04 | |
| Flux | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien | Zonal | Méridien |
| durant la semaine S | 7 | 0 | 7 | 0 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| durant les 14 j. précédents | 14 | 0 | 4 | 10 | 4 | 10 | 14 | 0 |
| Saison | 2004-05 | | | | | | | |
| Flux | Zonal | Méridien | | | | | | |
| durant la semaine S | 0 | 7 | | | | | | |
| durant les 14 j. précédents | 9 | 5 | | | | | | |

Nous allons dénombrer les périodes de flux zonal majoritaires (>70% du total des journées), de flux méridiens majoritaires, ainsi que les périodes partagées durant lesquelles une alternance élevée du flux est observée traduisant soit un changement net entre deux situations, soit une forte variabilité.

Tab. n°11 : Répartition des flux en période pré épidémique

| | Flux Zonaux Majoritaires | Flux Méridiens Majoritaires | Flux Partagés |
|------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------|
| Semaine S | 8 | 6 | 7 |
| % du total | 38.09 | 28.57 | 33.33 |
| S-1 et S-2 | 6 | 5 | 10 |
| % du total | 28.57 | 23.8 | 47.61 |

Le flux ne prend pas, en règle générale, une orientation préférentielle durant la période pré épidémique. Bien que supérieurs en nombre aux flux méridiens, les flux zonaux majoritaires ne représentent dans le meilleur des cas (*i.e.* en semaine S) que 38% des situations observées. La majorité des situations durant les 14 jours précédents correspond à un partage des flux. Sachant que, bien souvent, un changement de flux est accompagné d'un changement de type de temps, la méthode des types de temps s'en trouve ici confortée. Nous constatons en outre que lors de 9 épidémies, nous observons un passage d'une situation « plutôt méridienne » à une situation « plutôt zonale » (et inversement) entre la semaine de déclenchement et les 14 jours précédents. Une autre information relative à ces changements d'orientation des flux est d'importance : l'influence de l'ONA que nous avons écartée du fait de l'absence de données à un pas de temps adéquat. En effet, la valeur de l'indice d'oscillation nord atlantique est une traduction assez directe de l'orientation du flux : connaître l'orientation, c'est pouvoir au minimum donner une tendance (positive ou négative) de l'indice d'ONA à un pas de temps hebdomadaire. Gardons finalement à l'esprit que ces changements de flux qui sont observés ont une signature en dans les basses couches de l'atmosphère en termes météorologique. Un changement de flux va obligatoirement se répercuter sur d'autres variables climatiques.

Corrélations flux-incidences

Sans étendre la procédure sur l'ensemble des années, nous calculerons les coefficients de corrélation entre la valeur de nos indices de flux et deux années saisons significatives choisies pour leurs mois de déclenchement distincts : 1988-1989 (déclenchement en novembre), 1997-1998 (déclenchement en janvier) (Fig. n°31 p.147). Le seuil de significativité de ces

corrélations est fixé à 0,32 ($p=0,1$). L'analyse du précédent graphe semble montrer la faible significativité de la relation entre un type de flux et l'incidence grippale. Malgré tout, concernant la saison 97-98, une relation significative peut être trouvée entre l'incidence à la semaine S et le flux : une baisse de l'indice de zonalité (i.e. un accroissement des flux méridiens) en période pré-épidémique pourrait être mise en relation avec l'accroissement de l'incidence. Ainsi, la baisse de température observée lors du déclenchement des épidémies de janvier pourrait être due à une prédominance des flux méridiens : des types de temps hivernaux stables (flux de nord ou d'est, couvert, humides et froids). A ce sujet, pour la saison 97-98, la corrélation entre incidence et indice anticyclonique est de 0,61. La relation est donc assez fortement significative. Les types de temps associés à la présence d'un anticyclone continental seraient présents lors des départs épidémiques de janvier. Une extension de cette procédure à l'ensemble des saisons sera malgré tout nécessaire pour valider les résultats.

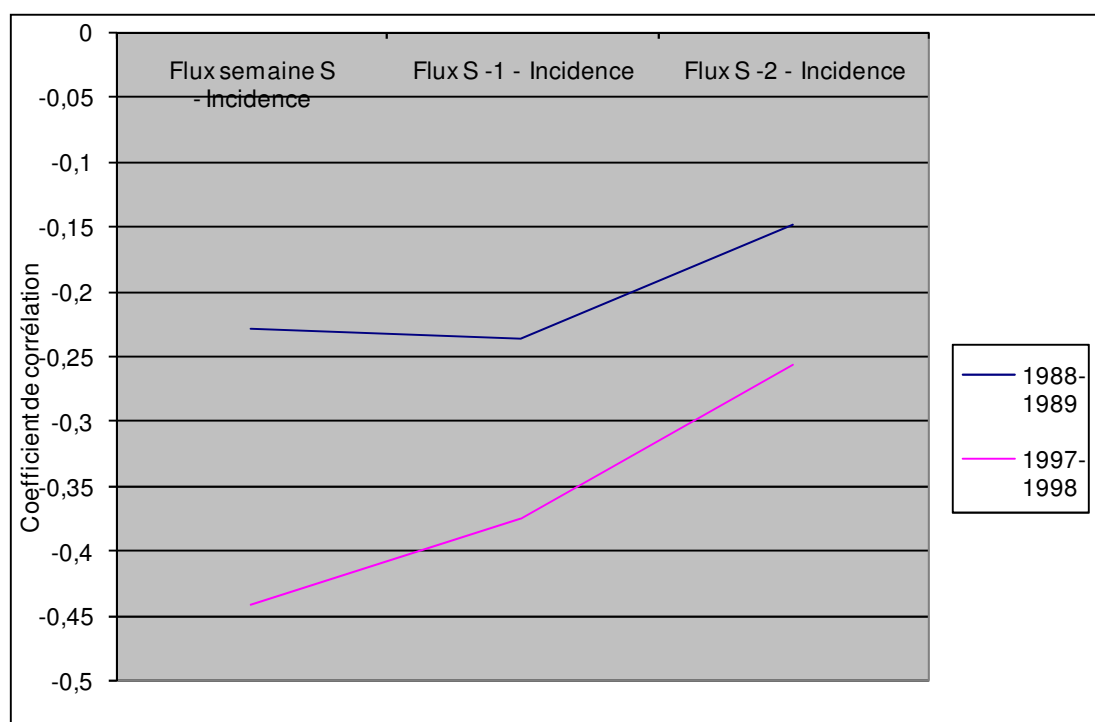


Fig. n°31 : Evolution temporelle de la corrélation Flux Incidence sur deux échantillons (1988-89 et 1997-98)

Des flux à l'ONA

Toujours dans l'optique d'opérer les rapprochements et/ou les distinctions entre les départs épidémiques de novembre et ceux de janvier, nous allons à présent nous intéresser à la

variation de l'indice d'Oscillation Nord Atlantique durant le mois de déclenchement épidémique et le mois précédent. Pour ce faire, nous collectons les indices mensuels de la NAAO et calculons les différences d'indices mensuels. Nous nous intéresserons ici essentiellement ici aux épidémies de novembre et janvier, négligeant de ce fait 3 épidémies n'entrant pas dans ce cadre : 1987-88, 1991-92 et 1994-95 (Tab. n°12).

Tab. n°12 : Evolution de l'indice d'ONA en période pré-épidémique

| Saison | 84-85 | 85-86 | 86-87 | 87-88 | 88-89 | 89-90 | 90-91 | 91-92 | 92-93 | 93-94 | 94-95 |
|-----------------------|----------|----------|---------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| ONA octobre | 1,48 | -0,42 | 3,33 | 1,05 | -0,98 | 0,85 | 1,01 | -0,33 | -1,41 | -3,21 | -1,16 |
| ONA novembre | 0,69 | -3,14 | 3,73 | -0,27 | -2,68 | -1,31 | -1,61 | 1,86 | 3,36 | 1,92 | -0,14 |
| Δ | -0,79 | -2,72 | 0,4 | -1,32 | -1,7 | -2,16 | -2,62 | 2,19 | 4,77 | 5,13 | 1,02 |
| ONA décembre | 1,11 | -0,77 | 1,73 | -2,51 | -0,13 | -3,23 | 0,83 | -0,87 | 0,97 | 2,97 | 1,63 |
| ONA janvier | -2,62 | 2,72 | -3,59 | 1,55 | 2,07 | 3,16 | 0,87 | -1,67 | 2,13 | 2,3 | 2,02 |
| Δ | -3,73 | 3,49 | -5,32 | 4,06 | 2,2 | 6,39 | 0,04 | -0,8 | 1,16 | -0,67 | 0,39 |
| Mois de déclenchement | janvier | janvier | janvier | mars | novembre | Novembre | janvier | décembre | janvier | novembre | mars |
| Saison | 95-96 | 96-97 | 97-98 | 98-99 | 99-2000 | 2000-2001 | 2001-2002 | 2002-2003 | 2003-2004 | 2004-2005 | |
| ONA octobre | -0,19 | 1,29 | -2,95 | 1,22 | 0,44 | 3,54 | 0,88 | -1,5 | -3,68 | -2,18 | |
| ONA novembre | -3,18 | 1,62 | -0,15 | 0,69 | 0,6 | 0,43 | 0,01 | -0,27 | 0,31 | -0,55 | |
| Δ | -2,99 | 0,33 | 2,8 | -0,53 | 0,16 | -3,11 | -0,87 | 1,23 | 3,99 | 1,63 | |
| ONA décembre | -4,14 | -3,4 | -1,1 | 1,46 | 1,53 | -1,58 | -2,25 | -0,98 | -0,85 | 1,27 | |
| ONA janvier | -1,48 | -2,58 | -0,41 | 1,55 | 0,07 | -0,03 | 2,31 | 0,15 | 0,20 | -0,36 | |
| Δ | 2,66 | 0,82 | 0,69 | 0,09 | -1,46 | 1,55 | 4,56 | 1,13 | 1,05 | -1,63 | |
| Mois de déclenchement | novembre | novembre | janvier | novembre | novembre | Novembre | janvier | janvier | novembre | novembre | |

Concernant les épidémies de novembre et de janvier, nous pouvons considérer que le déclenchement épidémique intervient après un changement ou une intensification importante du flux ($\Delta > 1,5$) : 61% des cas. Malgré tout, pour importante que soit la variation d'ONA, les épidémies de janvier connaissent bien souvent un « Δ octobre-novembre » également important. Dès lors pourquoi cette variation ne correspond-t-elle point à un déclenchement épidémique ? L'indice d'ONA va indiquer une tendance mensuelle du flux sur l'Atlantique nord (tronçon longitudinal Açores-Islande). Il est probable que cet indice ne correspond parfois pas à la réalité observée sur la France métropolitaine. De plus, comme énoncé précédemment, cet indice masque parfois des oscillations plus fines. L'absence réelle de résultats correspond ici typiquement à un problème d'échelle spatio-temporelle

3-3 Nébulosité et précipitations

Ces deux facteurs, rappelons le, avaient été choisis pour leurs liens présumés sur le déclenchement épidémique (rôle de l'humidité) ou sur la valeur de l'incidence grippale (pic épidémique correspondant à la semaine de plus faible radiation solaire reçue). En outre, dans une perspective plus géographique, nous nous interrogeons sur la possible vulnérabilité engendrée soit par une alternance des phases pluvieuses et non pluvieuses, soit par la baisse de luminosité (cf. dépression saisonnière). A la manière de l'orientation du flux d'altitude, nous avons réalisé un comptage relatif du nombre de jours pluvieux et du nombre de jours couverts (Tab. n°13). Quelques éclaircissements sont malgré tout nécessaires... Trois classes ont été réalisées pour la nébulosité comme pour la pluviométrie : couvert/demi couvert/dégagé ; pluvieux/traces/non pluvieux. Ainsi, dans ce travail, seuls les jours pleinement couverts ou réellement pluvieux ont été pris en compte. N'oublions pas non plus qu'une distinction nord/sud a été opérée : dès lors qu'une partie du territoire est soumise à un régime pluvieux et/ou couvert, la journée sera « quantifiée » comme pluvieuse et/ou couverte ; partant du principe qu'une quantité nécessaire de personne (correspondant à la moitié du territoire) est affectée par ce type de temps.

Tab. n°13 : Nébulosité et pluviométrie en période pré épidémique

| | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Saison | 84-85 | 85-86 | 86-87 | 87-88 | 88-89 | 89-90 | 90-91 | 91-92 | 92-93 | 93-94 | 94-95 |
| Nbr. de jours de Précip. (Semaine S) | 5 | 6 | 3 | 6 | 4 | 5 | 7 | 1 | 4 | 4 | 4 |
| Nbr. de jours de Précip. (S-1 et S-2) | 7 | 7 | 8 | 5 | 3 | 8 | 12 | 6 | 6 | 7 | 7 |
| Nbr. de jours couverts. (Semaine S) | 6 | 6 | 7 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 6 | 4 |
| Nbr. de jours couverts. (S-1 et S-2) | 9 | 11 | 10 | 3 | 4 | 7 | 13 | 7 | 12 | 10 | 5 |
| Saison | 95-96 | 96-97 | 97-98 | 98-99 | 99-00 | 2000-01 | 2001-02 | 2002-03 | 2003-04 | 2004-05 | |
| Nbr. de jours de Précip. (Semaine S) | 4 | 6 | 0 | 5 | 4 | 7 | 7 | 7 | 5 | 2 | |
| Nbr. de jours de Précip. (S-1 et S-2) | 7 | 11 | 8 | 10 | 14 | 13 | 7 | 14 | 14 | 4 | |
| Nbr. de jours couverts. (Semaine S) | 4 | 6 | 3 | 5 | 5 | 7 | 7 | 7 | 3 | 7 | |
| Nbr. de jours couverts. (S-1 et S-2) | 8 | 11 | 9 | 8 | 14 | 13 | 7 | 14 | 9 | 10 | |

Les chiffres présentés dans ce tableau montrent une assez grande hétérogénéité. Il va donc être nécessaire de classer, une fois de plus, ces informations pour en extraire des tendances générales sur les 20 dernières années. Notre classification sera ici beaucoup plus simple : 2 classes pour chaque paramètres ; jours pluvieux majoritaires et minoritaires et jours couverts majoritaires et minoritaires (Tab. n°14).

Tab. n°14 : Périodes pré épidémiques pluvieuses/couvertes majoritaires

| | Nombre de saisons pour lesquelles le nombre de jours pluvieux est majoritaire | % de toutes les saisons | Nombre de saisons pour lesquelles le nombre de jours couverts est majoritaire | % de toutes les saisons |
|---------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|
| ... en Semaine S | 17 | 80.8 | 19 | 90.5 |
| ... durant les S-1 et S-2 | 15 | 71.4 | 18 | 85.7 |

Durant toute la période pré épidémique (semaine S comme les 2 semaines précédentes) la couverture nuageuse semble assez importante. Le pourcentage de saisons comprenant un nombre de jours pluvieux majoritaires en période pré épidémique est très important : 80% en semaine S et 71% les 14 jours précédents. Il en va de même pour le pourcentage de saisons comprenant un nombre de jours couverts majoritaires avant l'épidémie : 90% pour la semaine S, 86% pour les semaines S-1 et S-2. Sans évoquer un lien indiscutable entre l'humidité extérieure (apportée par les précipitations) et le déclenchement épidémique, force est de constater tout de même que la grande majorité des semaines de déclenchement épidémique correspond à une forte activité pluvieuse. Notons l'augmentation assez sensible de la pluviométrie en semaine S par rapport aux 14 jours précédents. Cette augmentation aurait été plus nette si nous avions considéré la majorité des jours pluvieux comme étant un rapport strictement supérieur à 50%. En effet, nombreux sont les cas pour lesquels nous obtenons 7 jours sur 14 pluvieux et/ou couverts dans les 14 jours précédents. La question du changement de temps se pose encore avec acuité tout comme l'action de l'humidité. Il pourra ultérieurement être soumis à des essais à échelle plus fine ou correspondre à l'arrivée d'un type de temps particulier.

Corrélations : Incidence – Nébulosité / Incidence – Précipitations

A la manière de ce qu'il a été fait pour les flux, nous nous intéresserons une nouvelle fois à deux saisons distinctes : 1988-1989 (novembre) et 1997-1998 (janvier). Notons que les corrélations entre les deux années sont sensiblement différentes (Fig. n°32 et n°33 p.151).

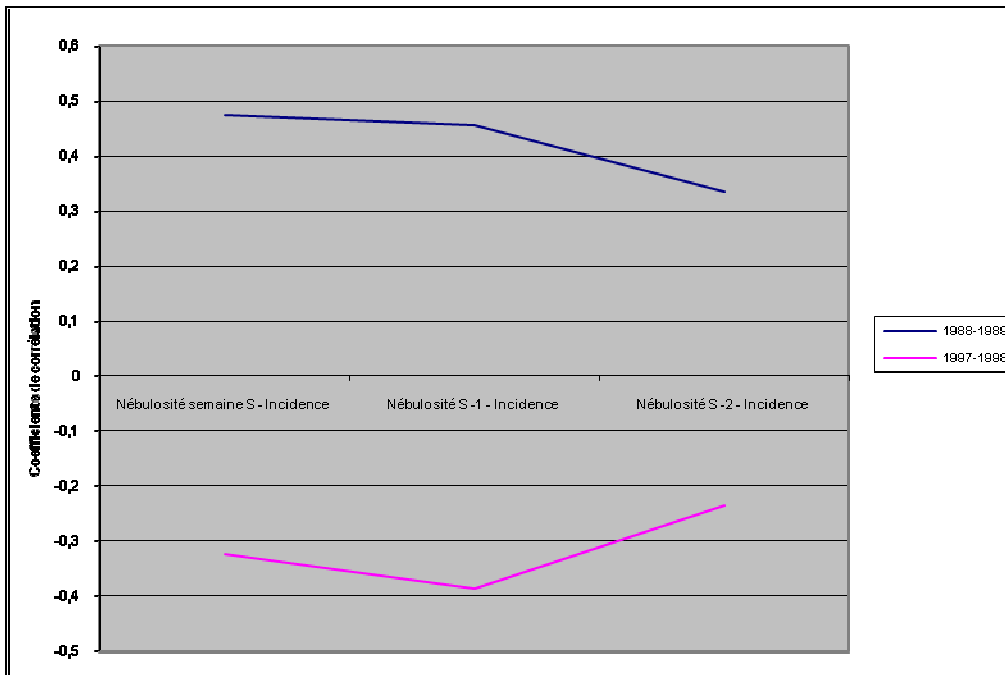


Fig. n°32 : Nébulosité Incidence, une relation différente entre les épidémies de novembre et de janvier

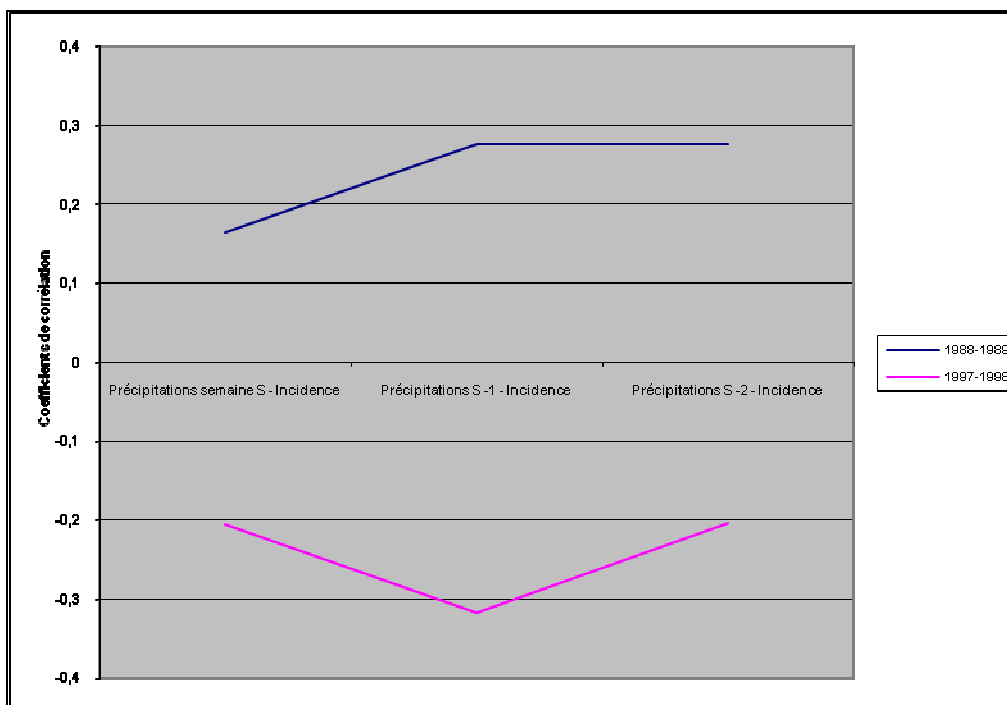


Fig. n°33 : Précipitations Incidence, une relation différente entre les épidémies de novembre et de janvier

Concernant l'épidémie de novembre (1988-1989), la relation est significative entre l'incidence et la nébulosité : plus la nébulosité croît, plus l'incidence augmente à mesure que l'on s'approche de l'épidémie. Par contre, la relation entre les précipitations et l'incidence semble peu significative. En revanche, concernant l'épidémie de janvier, notons que la relation entre nébulosité et incidence est significative mais inverse : l'augmentation de l'incidence serait à mettre en relation avec la baisse de la nébulosité et de fait avec la baisse des précipitations.

Bien que la relation entre précipitation et incidence grippale semble sur ces deux années assez faible, n'oublions pas que les relevés de précipitations attestent tout de même d'une majorité de départs épidémiques ayant été précédés par de nombreux jours pluvieux (quelque soit le mois de départ épidémique). Il ne faudrait surtout pas conclure trop hâtivement à l'absence de relation entre humidité et déclenchement épidémique. Une analyse d'échelle plus fine pourrait dégager un certain nombre d'hypothèses relatives à la température et à l'humidité.

3-4 Le déclenchement épidémique de la saison 1999-2000

Pour éclairer notre précédent propos et sortir d'une généralisation statistique, nous proposons d'analyser une épidémie en particulier : celle de 1999-2000.

3-4-1 Le contexte épidémiologique

Le réseau Sentinelles rappelle que l'épidémie de grippe de l'hiver 1999-2000 fut « assez forte ». Celle-ci a débuté durant la semaine du 6 au 12 décembre 1999 suivie par une montée qualifiée de progressive du taux d'incidence pour atteindre son pic entre le 10 et le 23 janvier 1999. Cette épidémie dura environ 13 semaines avec un taux d'incidence maximal au pic de 433 cas pour 100 000 habitants. Les virus impliqués dans cette épidémie furent deux variants du type A/H3N2. Les responsables de la veille épidémiologique notent que le pic fut atteint de manière relativement précoce. Cela pourrait s'expliquer par le fait d'un déclenchement relativement antérieur aux vacances scolaires. La dynamique épidémique potentiellement freinée par une baisse du taux de contact lié à la fermeture des écoles a pu se mettre en place bien avant les vacances de Noël et engendrer un pic plus précoce.

Bien que progressive, l'évolution du taux d'incidence fut quasi-continue dès lors que la courbe produit une accélération, corollaire de l'augmentation du nombre de cas et donc du

taux d'incidence. Cette continuité est assez nette au regard de la courbe d'incidence de la saison considérée (Fig. n°34).

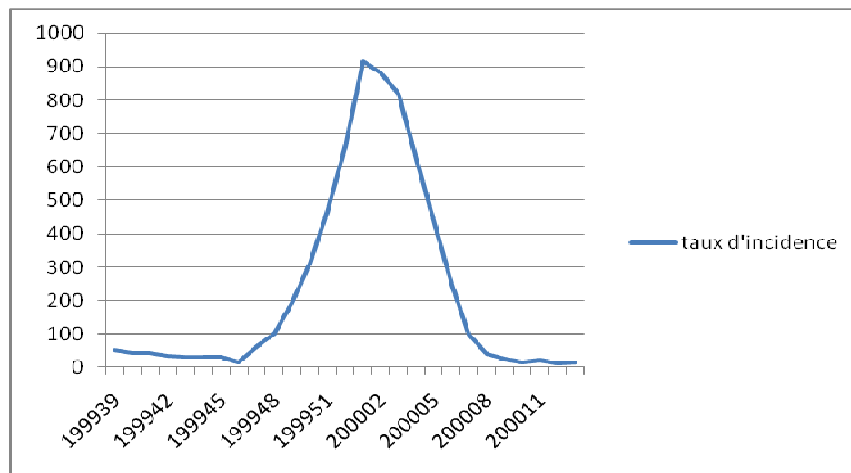


Fig. n°34 : Evolution du taux d'incidence grippale lors de l'hiver 1999 – 2000 en France
(données Réseau Sentinelles)

Comme l'indique la figure n°34, l'augmentation du taux d'incidence est continu entre la semaine légale n°46 de l'année 1999 et le pic de début janvier 2000. Dans le but d'analyser l'impact climatique sur le déclenchement épidémique, nous nous focaliserons sur le mois précédant l'accélération de la courbe d'incidence. Pour ce faire, avant d'analyser spatialement les paramètres température et humidité, il convient préalablement de se faire une idée de la situation épidémiologique en France métropolitaine durant le mois de novembre 1999 et au début du mois de décembre.

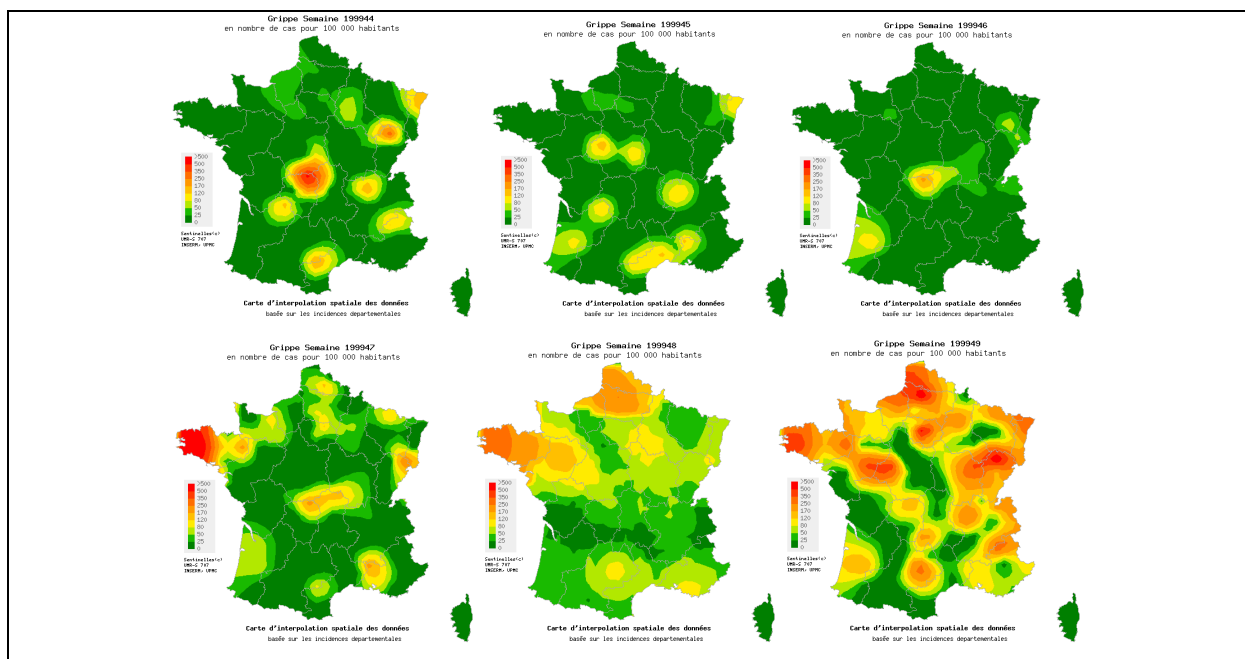


Fig. n°35 : Cartes d'activité épidémiologique de la grippe (semaine 44 à semaine 49-1999)
(Sources : Réseau Sentinelles)

Les cartes d'activité épidémiologique de la grippe du réseau Sentinelles de novembre et début décembre 1999 donnent une idée générale de la répartition spatiale des taux d'incidence sur le territoire métropolitain (Fig. n°35 p.153).

La chronologie est alors la suivante :

- Semaine 44 : quelques foyers épidémiques apparaissent çà et là dont un légèrement plus marqué sur le nord du Limousin. Aucune structure n'apparaît clairement et les niveaux d'incidences restent généralement faibles sur la majorité des régions françaises.
- Semaine 45 : la situation est sensiblement la même. En dépit de quelques foyers aux taux d'incidences limités, la France « reste dans le vert » : l'épidémie n'est pas encore d'actualité.
- Semaine 46 : *idem*. Les quelques poches grippales méridionales ne sont plus : la France ne connaît toujours pas d'épidémie.
- Semaine 47 : Des changements se produisent. Un net foyer épidémique apparaît en Bretagne tandis que quelques secteurs voient leurs taux d'incidence partir à la hausse dans des mesures plus modestes.
- Semaine 48 : une diffusion semble s'opérer depuis la Bretagne quand, dans le même temps, l'activité épidémique démarre sensiblement dans le Nord-Pas-de-Calais et en Picardie.
- Semaine 49 : le début « officiel » de l'épidémie ne semble plus très éloigné. Des foyers épidémiques apparaissent sur tout le territoire. Malgré tout, la densité et l'intensité de ces foyers semblent plus élevées au nord d'une diagonale Nice-Brest.

Pour résumer, la dynamique épidémique ne semble se mettre en place réellement qu'à partir de la semaine n°47 (22 au 28 novembre 1999). Plusieurs foyers septentrionaux (dont un majeur en Bretagne) se distinguent dès cette semaine. La situation devient encore plus nette les deux semaines suivantes. Durant la semaine 48, une dichotomie nord-sud plus ou moins nette apparaît ; en semaine 49, la moitié nord-est du pays connaît les taux d'incidence les plus élevés de manière assez généralisée : le début de l'épidémie de grippe est alors très proche. Finalement, en dépit du foyer breton, la grippe se déclenche dans le nord pour suivre un axe nord/sud ou nord-est/sud-ouest.

Analysons dans le même temps l'évolution des paramètres températures et humidité afin d'essayer de mettre en lien le contexte climatique et l'épidémie de grippe.

3-4-2 Le contexte climatique

La littérature précédemment évoquée incrimine généralement volontiers la température et l'humidité dans le déclenchement épidémique voire la survie du virus dans l'air. Peut-on, à l'échelle d'un territoire comme la France et ses régions, entrevoir spatialement ce lien ?

Nous utiliserons deux types de données, toutes deux issues de la météorologie nationale. Tout d'abord l'information de température correspond à la moyenne min-max journalière. Etant donné que nous avons mis en lien précédemment la baisse de température avec le déclenchement épidémique : nous raisonnerons en termes d'évolution de la température par tranches de 4 jours en les 4 et 24 novembre 1999. Les cartes générées montrent des classes correspondant à des intervalles de baisses ou de hausses de températures. Créées à partir de la plateforme SIG Arcgis 9.2, l'unique difficulté méthodologique résidait dans la jointure de tables non-calibrées. La discrétisation automatique (par quelque méthode que ce soit, Jenks etc. ...) aboutissait à des cartes aux classes disparates difficilement comparables entre elles : nous avons pris le parti de définir les classes manuellement. Concernant les données d'humidité : nous avons utilisé l'humidité relative minimale journalière. Par temps froid (saison froide oblige), le point de saturation est plus facilement (et donc plus souvent) atteint, de fait, prendre l'humidité relative maximale n'apportait qu'une information limitée. Nous avons noté ponctuellement par départements l'Hr minimale pour les 4, 8, 12, 16, 20 et 24 novembre 1999.

- Evolution de la température

Les classes choisies pour l'ensemble de ces cartes sont [-12 ; -6], [-5.9 ; -3], [-2.9 ; 0], [0.1 ; 3], [3.1 ; 10]. Le différentiel calculé correspond donc à la température moyenne journalière du dernier jour de la séquence moins la température moyenne journalière du 1^{er} jour. Un département en bleu foncé indiquera, *de facto*, une baisse de température comprise entre en 6 et 12°C : en d'autres termes une baisse de -6°C à -12°C en 4 jours. Le mois de novembre 1999 ne fut pas choisi par hasard. La baisse de température précédant le déclenchement épidémique a antérieurement été mise en avant dans cette thèse. Presque 10°C ont été perdu sur l'ensemble du territoire entre le début et la fin de cette baisse. La réalisation de ces cartes

permet de spatialiser cette information et de la croiser avec les cartes d'activité épidémiologiques présentées plus haut.

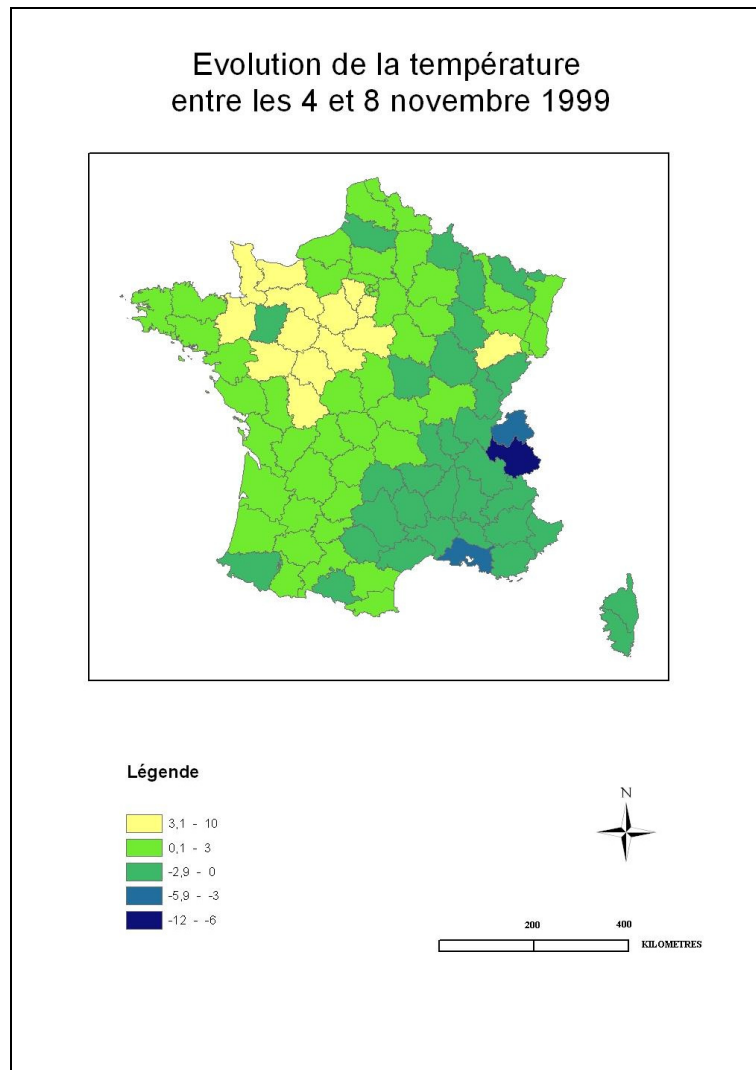


Fig. n°36 : La baisse s'amorce dans le sud-est

La situation entre les 4 et 8 novembre (Fig. n°36) ne permet pas de réaliser de comparaisons avec une situation antérieure non-cartographiée. Elle correspond simplement au départ de notre analyse de l'évolution de la baisse de température. Néanmoins, quelques informations peuvent, d'ores et déjà en être extraites. Une grande partie ouest du territoire correspond à un secteur de stagnation voire de hausse des températures. La région Centre ainsi que la Normandie connaissent des hausses sensibles de la température tandis que les autres régions occidentales n'affichent que des gains thermiques relativement limités (entre 0°C et 3°C) probablement à mettre en lien avec l'influence océanique. L'est du territoire témoigne d'une situation un peu plus confuse. Si quelques départements du nord-est affichent des baisses

sensibles allant jusqu'à 3°C, c'est le quart sud-est qui présente la situation la plus homogène avec une baisse généralisée. Quelques départements (les Savoie et les Bouches du Rhône) connaissent des baisses de températures très nettes supérieures à 3 voire 6°C.

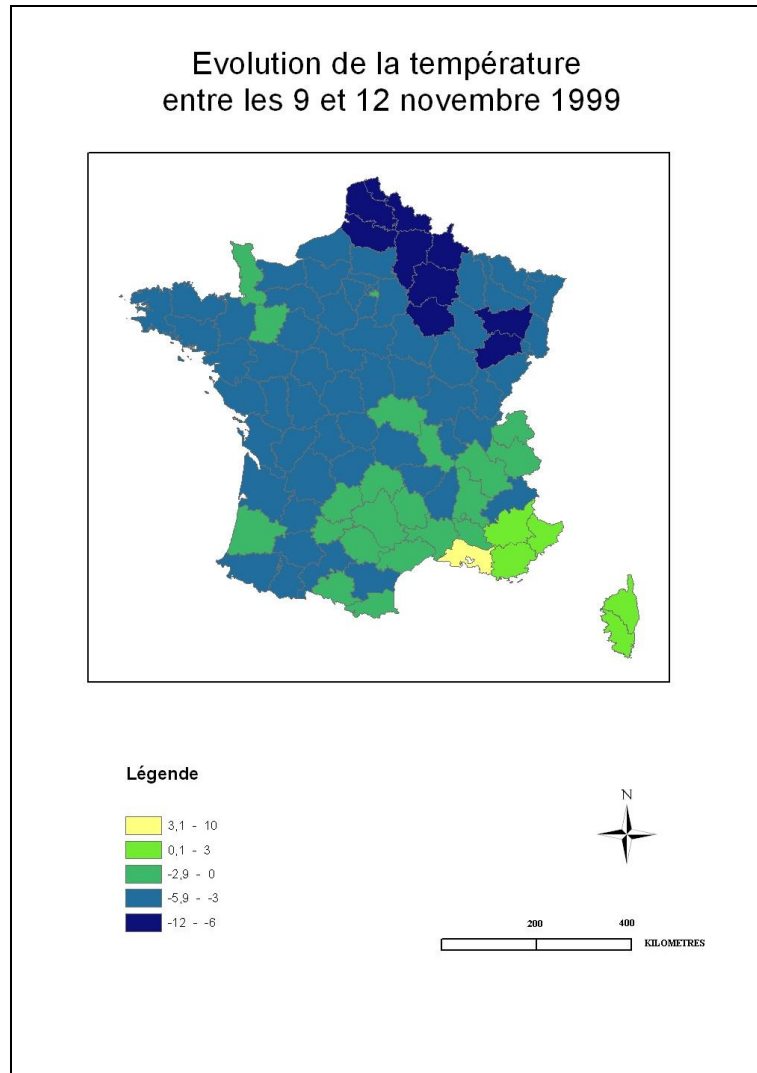


Fig. n°37 : Une coulée froide arrive du nord et de l'est

L'évolution entre les 9 et 12 décembre 1999 est intéressante (Fig. n°37). Alors que lors de la séquence précédente, les baisses de températures étaient relativement limitées et confinées à une petite moitié est du pays ; celles-ci deviennent bien plus nettes et sont désormais nettement plus marquées. Un gradient nord/sud semble s'installer preuve, peut-être, d'une advection d'air frais par le nord. Par hypothèse, la circulation zonale semble alors se bloquer pour finalement faire place à un flux méridien de composante nord. Le Nord-Pas-de-Calais, les Ardennes, une partie de la Picardie et les contreforts vosgiens connaissent les baisses de températures les plus sévères. Une large moitié nord ainsi que la majeure partie du grand sud-

ouest affrontent des baisses thermiques marquées allant de 3 à 6°C. Seul un grand quart sud-est semble échapper à ce schéma où la région PACA gagne quelques degrés durant cette séquence de 4 jours.

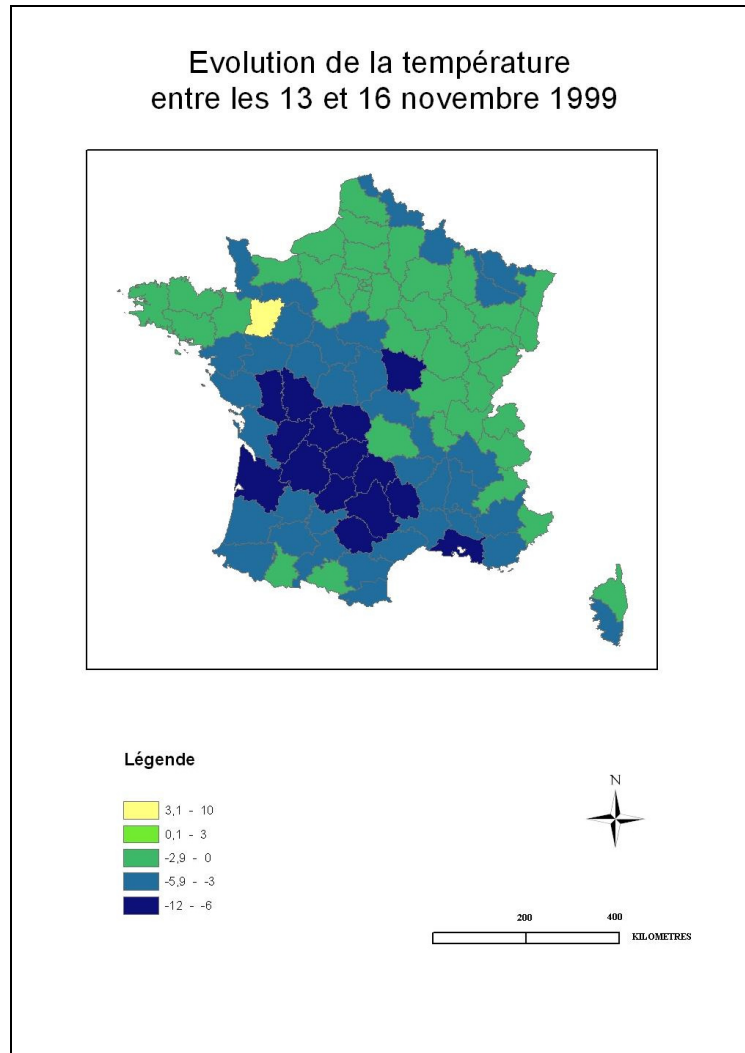


Fig. n°38 : La coulée froide atteint le sud-ouest

La situation entre les 13 et 16 novembre 1999 n'est que le résultat de la coulée froide observée précédemment (Fig. n°38). Si l'advection d'air froid semblait prendre une composante nord/sud, il apparaît désormais que celle-ci soit plus nord-est/sud-ouest. Une grande frange nord-est du pays connaît encore des baisses sensibles de températures allant jusqu'à 3°C mais c'est dans le grand sud-ouest que la situation est la plus intéressante et conforte l'idée d'une coulée froide septentrionale. Désormais Poitou-Charentes, Limousin, une grande partie de l'Auvergne et le nord de l'Aquitaine et de Midi-Pyrénées connaissent les baisses de température les plus marquées. La masse d'air froid s'est donc déplacée du nord-est

vers le sud-ouest. Seul le département de la Mayenne connaît étrangement une augmentation nette de la température durant cette séquence. Ce département échappe tellement au schéma général qu'il doit s'agir très probablement d'un artefact de la base de donnée.

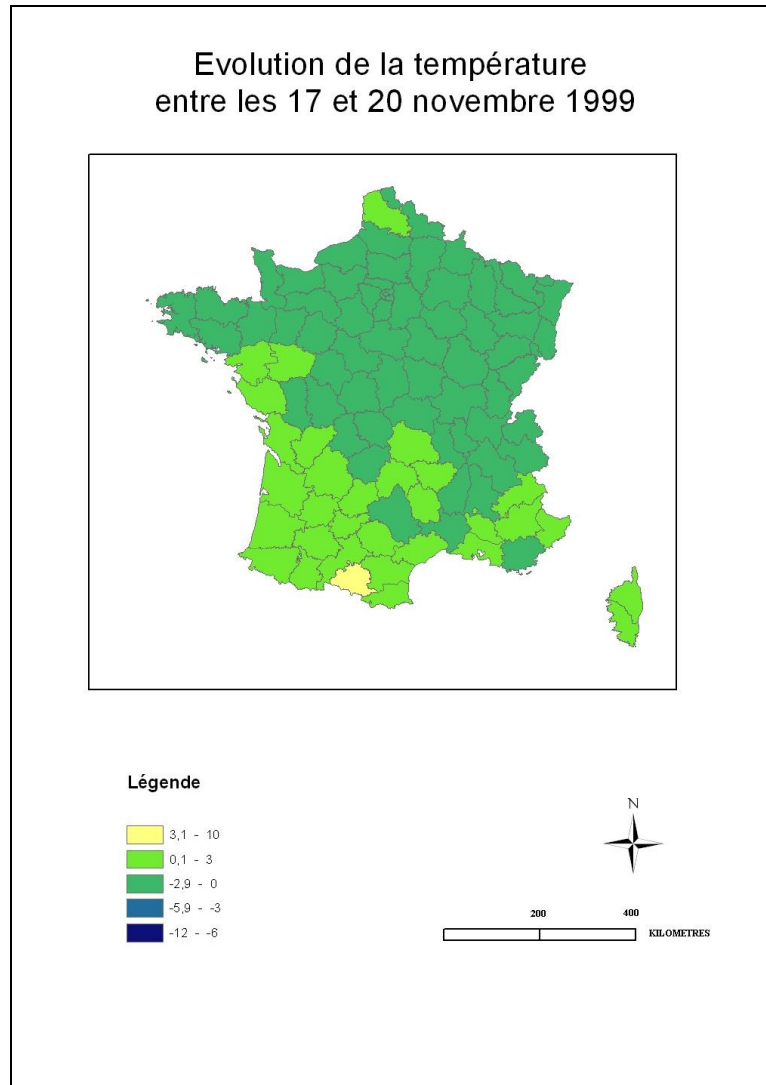


Fig. n°39 : La température se stabilise

Dans la séquence du 17 au 20 novembre 1999 (Fig. n°39), la situation semble se stabiliser. Désormais aucun département ne connaît une baisse sévère de température. Les deux tiers nord-est du pays connaissent encore des baisses thermiques modérées pouvant aller jusqu'à 3°C maximum. Le grand sud-ouest connaît dès lors une influence méridionale : ceci se ressent sur les températures qui recommencent à croître sensiblement. Durant la dernière séquence (celle du 21 au 24 novembre 1999) (Fig. n°40 p.160), la coulée froide est désormais terminée. La grande majorité du territoire métropolitain voit sa température augmenter de façon très

nette ($>3^{\circ}\text{C}$). Seuls deux départements (les Vosges et la Savoie) connaissent, de manière ponctuelle, des baisses thermiques qui ne doivent certainement pas être mises en relation avec la situation synoptique.

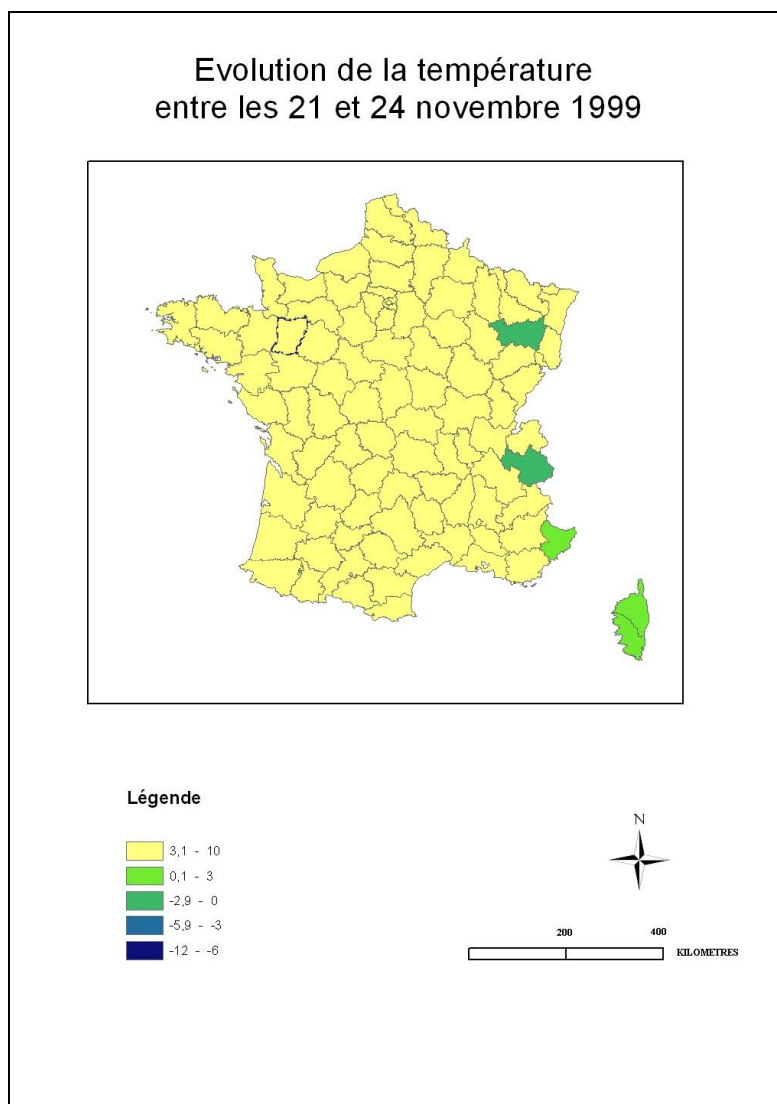


Fig. n°40 : La température remonte

Après avoir analysé la situation thermique sur le territoire français en ce mois de novembre 1999, il n'est pas inutile de s'intéresser à l'évolution concomitante de l'humidité relative durant ce même mois.

- Evolution de l'humidité relative

Sans rentrer dans une foule de détails, il convient néanmoins de rappeler que les lois de la thermodynamique lient la température et l'humidité. En simplifiant, on peut considérer que

l'humidité relative est une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air (la pression partielle de vapeur d'eau) et sa capacité maximale à en contenir dans des conditions définies (la pression saturante).

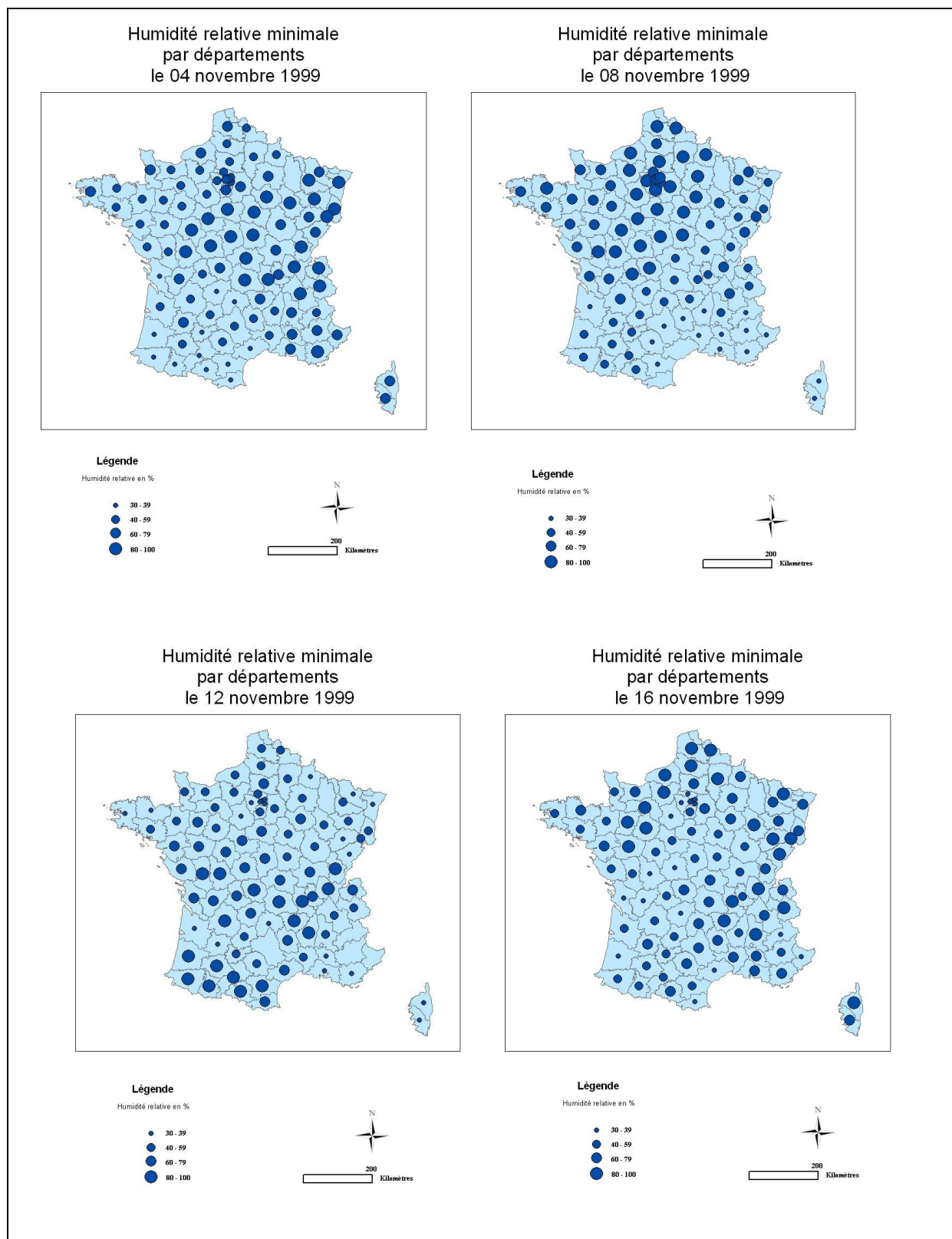


Fig. n°41 : L'humidité relative minimale par départements les 4, 8, 12 et 16 novembre 1999

Ce rapport évolue si on change la température ou la pression alors même que l'humidité absolue n'a pas changé. L'humidité relative s'exprime en pourcentage.

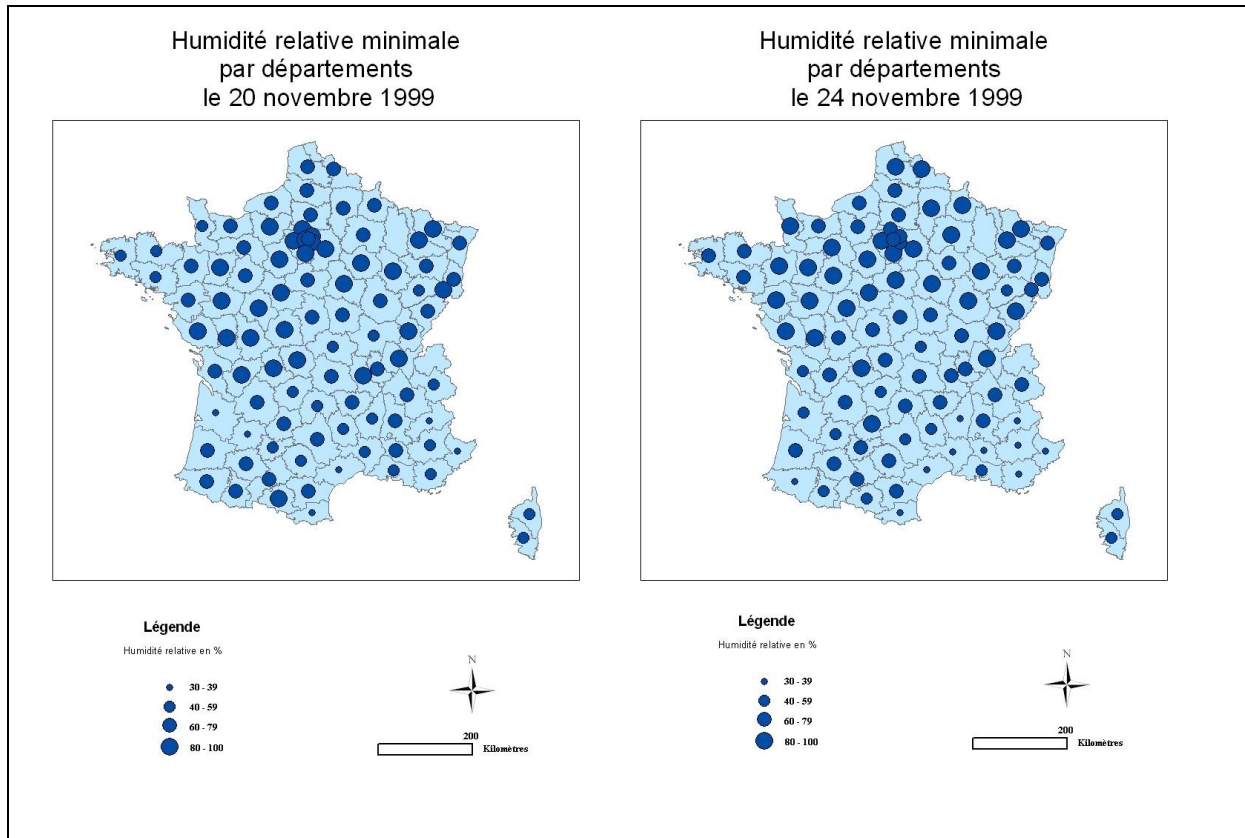


Fig. n°42 : L'humidité relative minimale par départements les 20 et 24 novembre 1999

En d'autres termes, à humidité absolue égale, l'humidité relative sera plus ou moins élevée en fonction de la température car de la température dépend la pression de vapeur saturante. Cette pression de vapeur saturante augmente avec la température : plus l'air est chaud, plus il peut « contenir » de vapeur d'eau. Ainsi pour une humidité absolue donnée, l'humidité relative calculée sera plus élevée dans un air froid que dans un air chaud. Nous avons pris le parti de ne représenter ici que les humidités relatives minimales. Les nuits étant particulièrement froides entre octobre et mars en France métropolitaine : les humidités relatives deviennent mécaniquement plus élevées. Il devient alors difficile de comparer les régions entre elles. Les humidités relatives minimales ont ainsi été calculées sur la base de la température la plus élevée de la journée. De la même manière que pour les températures, la discrétisation automatique opérée par Arcgis ne nous permettait pas de pouvoir comparer aisément les cartes entre elles. Ainsi, nous avons réalisé des classes manuellement. Celles-ci sont les

suivantes : [30 ; 39], [40 ; 59], [60 ; 79], [80 ; 100]. Certains départements ne portent aucun cercle proportionnel. Ceci est simplement dû au fait qu'aucune donnée n'a été transmise ce jour par météo-France concernant ce département.

Bien entendu, l'analyse de l'évolution de l'humidité relative ne se fait pas indépendamment de ce qui a été fait plus haut, un certain nombre d'hypothèses seront formulées du fait de la connaissance de l'évolution de la température. Chronologiquement, l'humidité relative a donc évolué de la manière suivante :

- le 4 novembre 1999 (Fig. n°41 p.161). La France est globalement coupée en deux. S'opposent une partie occidentale aux humidités relatives modérées (voire faibles sur tout le Piémont pyrénéen) et une partie centrale et orientale aux humidités relatives très élevées. On peut affirmer par hypothèse que par effet de continentalité, les températures sont plus fraîches dans l'est : un véritable gradient d'océanité jouant sur les températures et, *de facto*, sur les humidités relatives semble observable. Les très faibles niveaux d'humidité relevés dans le sud-ouest pourraient être le corollaire de basses couches surchauffées par effet de foehn.
- le 8 novembre 1999 (Fig. n°41 p.161). L'influence méridionale semble encore assez nette. La France du sud, aux températures plus douces, connaît des humidités relatives assez faibles tandis qu'une grande moitié nord voit des pourcentages relativement élevés. Cette différence s'explique peut-être par des phénomènes de basses couches plus fréquents (type brouillard) dans le nord à cette époque ou par une circulation d'ouest active génératrice de temps perturbés véhiculant de l'humidité.
- le 12 novembre 1999 (Fig. n°41 p.161). La situation devient vraiment intéressante à l'approche de la mi-novembre. Comme évoqué précédemment, la température baisse nettement sur la moitié nord probablement du fait d'une coulée froide. On pourrait s'attendre, dès lors, à observer des taux d'humidité relative élevés du fait des températures basses (car pression de vapeur saturante plus faible) or il n'est en rien. Les humidités relatives observées dans les régions qui connaissent cette baisse de température sont modérées à faible. L'humidité absolue de cette masse d'air doit alors être assez basse. Ceci montre que l'air véhiculé par cette descente froide ne doit pas être d'origine maritime mais bien continentale : un air froid polaire continental sec.

- le 16 novembre 1999 (Fig. n°41 p.161). La dynamique observée le 12 novembre se confirme. Alors que les baisses de températures les plus nettes concernent désormais le centre-ouest, c'est bien dans ces régions que les humidités relatives observées sont les plus faibles. L'hypothèse d'une advection d'air polaire continental sec semble se confirmer.
- le 20 novembre 1999 (Fig. n°42 p.162). A mesure que les températures se stabilisent et que le flux (peut-être) rebascule vers une composante plus occidentale, les humidités relatives redeviennent très généralement élevées sur l'ensemble du territoire métropolitain.
- le 24 novembre 1999 (Fig. n°42 p.162). Alors que la vague de froid est désormais terminée, on retourne vers la configuration de départ. Les ¾ nord du pays observent des humidités relatives fortes du fait d'un air océanique alors que les départements méridionaux connaissent encore des valeurs faibles du fait de températures plus clémentes.

Synthèse

Il serait hasardeux de tirer des conclusions hâtives d'une mise en relation des cartes épidémiologiques avec des cartes de températures et d'humidité. Malgré tout, le schéma général proposé, lié aux résultats précédents (i.e. baisse de température et déclenchement épidémique), montre nettement un déclenchement épidémique septentrional et une coulée d'air froid suivant un axe nord/sud ou nord-est/sud-ouest. Sans donner un résultat probant, il est intéressant de noter que l'épidémie suit les conditions théoriques optimales de survies et de diffusions du virus : tant du point de vue de la température que de l'humidité. Un travail sur la récurrence des types de temps semble alors nécessaire sur la vingtaine d'année étudiée afin de voir si ce « schéma » se reproduit pour d'autres épidémies. Le cas particulier du foyer breton doit pousser à nous interroger : est-ce que l'advection d'air froid et sec rend plus vulnérable des populations vivant généralement dans un air plus humide ou est-ce que des facteurs plus sociaux, démographiques ou migratoires rentrent en ligne de compte pour expliquer la précocité de ce déclenchement ?

4 - Intégrer tous les paramètres dans une classification pour mettre en avant des situations types

Après avoir montré que des baisses de température sont statistiquement récurrentes avant les déclenchements épidémiques, nous gardons à l'esprit que les températures ne sont pas indépendantes d'autres facteurs météorologiques, mais appartiennent à un contexte climatique plus global. En France métropolitaine, les advections d'air froid sont conditionnées par des directions préférentielles du courant jet du front polaire. Aux latitudes moyennes, le jet alterne entre une activité forte et rapide (ouest-est) et une activité plus lente (nord-sud). L'intensité du flux au sein de westerlies est par ailleurs soumise à des oscillations périodiques associées à des changements caractéristiques de l'emplacement du rail des tempêtes et de la distribution de masses d'air. Trois situations types, dans la moyenne troposphère, peuvent engendrer des températures de surface basses en Europe occidentale.

Les figures n°43, 44 et 45 pp.165-166 mettent en évidence ces situations en montrant des semaines précises étudiées dans cette étude.

· Un haut géopotential sur l'Atlantique nord peut produire un flux de nord-ouest (la 52ème semaine de 2001).

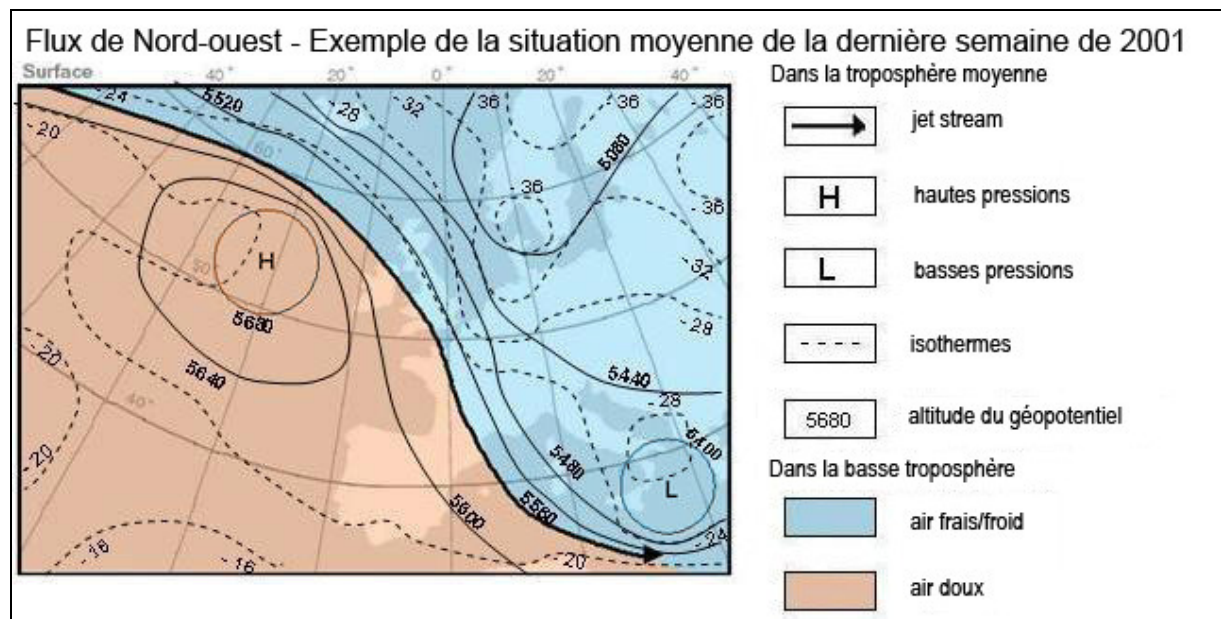


Fig. n°43 : Illustration d'un flux de nord-ouest (à partir des bulletins de Météo-France)

- Un haut géopotential sur le proche Atlantique nord peut engendrer un flux du nord (la 4ème semaine de 1998).

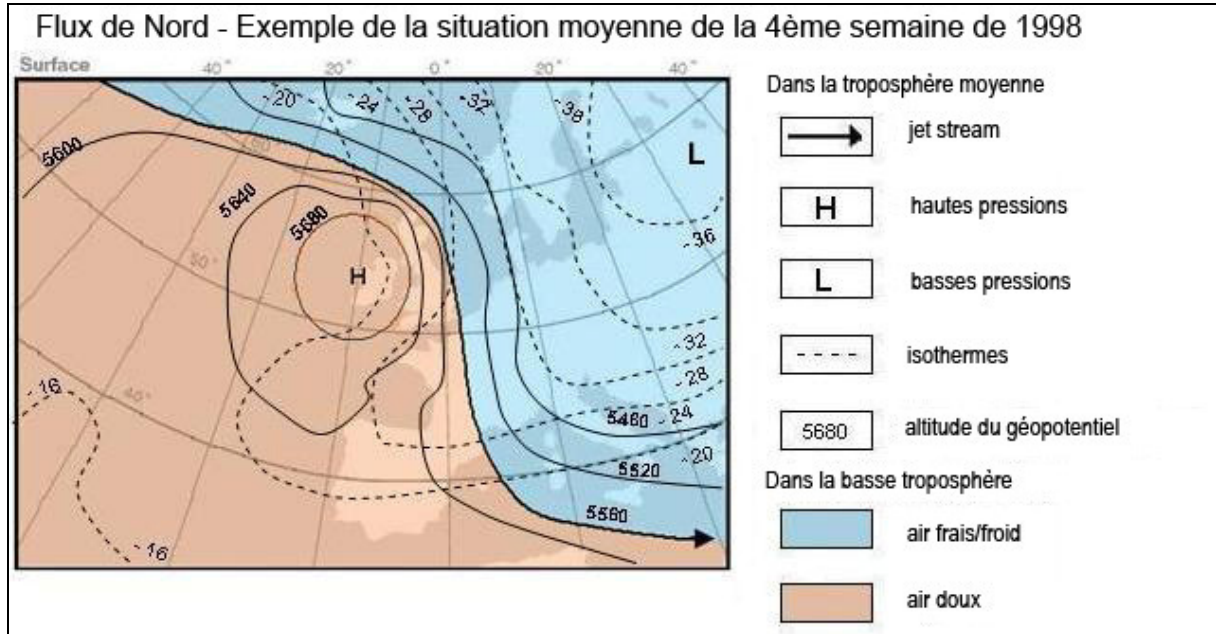


Fig. n°44 : Illustration d'un flux de nord (à partir des bulletins de Météo-France)

- Un bas géopotential sur l'Europe de l'est ou sur la Méditerranée peut créer un générer un flux d'est ou de nord-est (la 2ème semaine de 2006).

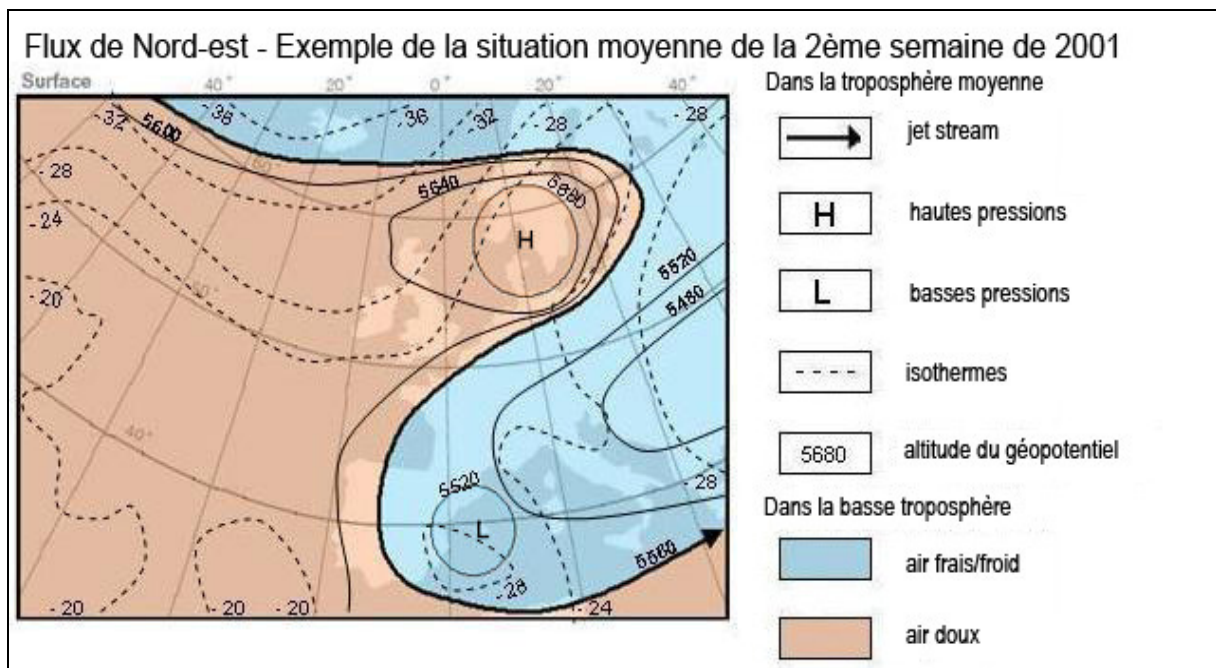


Fig. n°45 : Illustration d'un flux de nord-est (à partir des bulletins de Météo-France)

Toutes ces situations génèrent l'arrivée d'air polaire maritime froid ou d'air polaire continental gelé et sont responsables des baisses de température observées. Finalement nous tentons de voir si une de ces 3 situations est plus souvent observée avant les épidémies. L'analyse de tous les paramètres climatiques mettra en lumière des situations météorologiques observées avant l'épidémie qui devraient correspondre à une de ces situations dans la moyenne troposphère. Alors, considérant les directions possibles du flux d'altitude conditionnant ces baisses de température, nous avons cherché des configurations apparaissant plus fréquemment avant le déclenchement des épidémies de grippe. Finalement, étant donné que les masses d'air dans la moyenne troposphère correspondent à des conditions météorologiques spécifiques, nous avons intégré tous les paramètres climatiques dans une analyse statistique multivariée qui permet l'extraction de combinaisons récurrentes correspondant à des types de temps. Étant donné que tous les paramètres climatiques sont liés, nous les avons intégrés communément dans un algorithme de classification afin de mettre en lumière des combinaisons récurrentes (constituant des types de temps) associées à ces baisses de température. Afin de réaliser ces combinaisons nous avons utilisé la méthode des « nuées dynamiques » (Diday 1971), un algorithme de classification basé sur la méthode des « k-means » (MacQueen 1967). Cette méthode de partition dynamique est une procédure de classification non-hiérarchique qui peut aider à la formation de groupes homogènes (variance intra-groupe minimale) parmi des données multidimensionnelles, tandis que chaque groupe reste assez différent des autres (variance extra-groupe maximale). Cette partition a été réalisée en analysant les distances euclidiennes calculées d'une ou plusieurs variables numériques au moyen de la procédure Fastclus (SAS Système V 9.0). Cette procédure trouve les classes optimales, mais permet aussi de fixer *a priori* leur nombre. La première itération de la procédure a montré un certain nombre de groupes qui ont été affinés manuellement (option Maxclusters). Nous nous sommes finalement concentrés sur les moyennes de nos variables pour mettre en évidence des combinaisons possibles constituant "des types de temps". Les Figures n° 46, 47 et 48 pp 168-170 représentent cette classification en intégrant respectivement les trois, les deux puis les dernières semaines avant le déclenchement épidémique (ce qui explique les chiffres de fréquence beaucoup plus élevés sur la fig. 46 que sur les fig. 47 ou 48). Cette manière d'opérer nous permet d'affiner peu à peu notre observation en montrant l'évolution de types de temps préférentiels et leurs fréquences durant les 3 semaines avant l'épidémie. A terme nous mettons en évidence deux combinaisons représentatives des types de temps régulièrement observés avant le déclenchement épidémique.

| Cluster | Frequency | RMS Std Deviation | Maximum Distance from Seed to Observation | Radius Exceeded | Nearest Cluster | Distance Between Cluster Centroids |
|---------|-----------|-------------------|---|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| 1 | 15 | 0.6244 | 3.0871 | 3 | 3.7279 | |
| 2 | 19 | 0.8417 | 3.0517 | 3 | 5.1654 | |
| 3 | 31 | 0.5278 | 2.5081 | 1 | 3.7279 | |

nuees_dynamiques_pre_epds
The FASTCLUS Procedure
Replace=FULL Radius=0 Maxclusters=3 Maxiter=5 Converge=0.02

Cluster Means

| Cluster | T °c min Moy | Pression | Flux | Nébulosité | Précipitations |
|----------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 8.203333333 | 0.408000000 | 0.675333333 | 0.672666667 | 0.584000000 |
| 2 | -0.672932331 | 0.578947368 | 0.314210526 | 0.574736842 | 0.525263158 |
| 3 | 4.476958525 | 0.510000000 | 0.695806452 | 0.647419355 | 0.593548387 |

Cluster Standard Deviations

| Cluster | T °c min Moy | Pression | Flux | Nébulosité | Précipitations |
|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 1 | 1.288480207 | 0.289709214 | 0.328021486 | 0.181677370 | 0.253934750 |
| 2 | 1.805653095 | 0.342213298 | 0.272831160 | 0.200343273 | 0.224731158 |
| 3 | 1.024427349 | 0.315087289 | 0.334183325 | 0.211612346 | 0.296249314 |

Fig. n°46 : Sortie SAS – Classification autour des centres mobiles pour l’ensemble des 3 semaines avant le déclenchement épidémique (toutes saisons confondues)

Afin de ne pas avoir à décoder une information trop brouillée et dans le but de générer une typologie la plus générale possible, j’ai défini trois classes pour la semaine S-3. Le nombre maximal d’itération fut fixé à 5, ce qui est bien suffisant pour définir des classes stables eu égard à la taille des données initiales. La sortie 1 (Fig. n°46.) ne montre pas une tendance nette du point de vue de la pression atmosphérique (hormis la classe 1 plutôt dépressionnaire). On constate néanmoins deux situations distinctes concernant les flux (zonal marqué pour 71% des semaines ; méridiens marqué pour 29%). En prenant l’ensemble des trois semaines avant départ épidémique de l’ensemble des saisons, le message reste encore relative brouillé.

| Cluster | Frequency | RMS Std Deviation | Maximum Distance from Seed to Observation | Radius Exceeded | Nearest Cluster | Distance Between Cluster Centroids |
|---------|-----------|-------------------|---|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| 1 | 14 | 0.8399 | 2.8782 | 3 | 5.1991 | |
| 2 | 7 | 0.7289 | 3.2237 | 3 | 3.7301 | |
| 3 | 22 | 0.5586 | 2.3796 | 2 | 3.7301 | |

nuees_dynamiques_pre_epds

The FASTCLUS Procedure
 Replace=FULL Radius=0 Maxclusters=3 Maxiter=5 Converge=0.02

Cluster Means

| Cluster | T °c min Moy | Pression | Flux | Nébulosité | Précipitations |
|----------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | -0.846938776 | 0.571428571 | 0.304285714 | 0.571428571 | 0.517857143 |
| 2 | 8.068367347 | 0.365714286 | 0.611428571 | 0.655714286 | 0.605714286 |
| 3 | 4.340909091 | 0.505454545 | 0.616363636 | 0.656363636 | 0.604090909 |

Cluster Standard Deviations

| Cluster | T °c minMoy | Pression | Flux | Nébulosité | Précipitations |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 1 | 1.797402876 | 0.354744917 | 0.296951544 | 0.180974165 | 0.222578545 |
| 2 | 1.568362036 | 0.215782077 | 0.328959398 | 0.143277952 | 0.147406144 |
| 3 | 1.080557890 | 0.338170530 | 0.359742573 | 0.235524652 | 0.305437377 |

Fig. n°47 : Sortie SAS – Classification autour des centres mobiles pour l’ensemble des 2 semaines avant le déclenchement épidémique (toutes saisons confondues)

La situation se précise quelque peu en ne regardant que les deux semaines avant le départ épidémique de l’ensemble des saisons. Les semaines à flux méridiens ne représentent que 28% de l’ensemble des semaines. Du point de vue des types de temps, la classe 1 correspondrait à une type de temps froid généré par une circulation méridienne tandis que les classes 2 ou 3 correspondraient à des types des temps frais (ou doux mais dans une moindre mesure cf. fréquence de classe) et perturbés. Ces deux classes ont des caractéristiques voisines. De plus, seules 7 semaines correspondent au sous-type 2. Ceci nous pousse, pour la dernière sortie, à n’envisager que deux classes. D’autant plus que nous ne nous retrouvons qu’avec 21 semaines à analyser.

| Cluster | Frequency | RMS Std Deviation | Maximum Distance from Seed to Observation | Radius Exceeded | Nearest Cluster | Distance Between Cluster Centroids |
|---|---------------------|----------------------|---|--------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 1 | 10 | 0.9033 | 2.8018 | 2 | 6.0479 | |
| 2 | 11 | 0.7604 | 3.1982 | 1 | 6.0479 | |
| Cluster Means | | | | | | |
| Cluster | T °c min Moy | Pression | Flux | Nébulosité | Précipitations | |
| 1 | 5.512142857 | 0.413000000 | 0.628000000 | 0.648000000 | 0.567000000 | |
| 2 | -0.525974026 | 0.570909091 | 0.335454545 | 0.572727273 | 0.523636364 | |
| nuees_dynamiques_pre_epds | | | | | | |
| The FASTCLUS Procedure | | | | | | |
| Replace=FULL Radius=0 Maxclusters=2 Maxiter=5 Converge=0.02 | | | | | | |
| Cluster Standard Deviations | | | | | | |
| Cluster | T °c min Moy | Pression | Flux | Nébulosité | Précipitations | |
| 1 | 1.944933677 | 0.325782818 | 0.318566232 | 0.196117878 | 0.225341716 | |
| 2 | 1.593761027 | 0.388933273 | 0.316270885 | 0.189055067 | 0.252953463 | |

Fig. n°48 : Sortie SAS - Classification autour des centres mobiles 1 semaine avant le déclenchement épidémique (toutes saisons confondues)

Ces deux classes représentent ensemble presque la totalité des saisons étudiées (21 de 22) et sont quantitativement comparables (10 pour l'une et 11 pour l'autre). Malgré tout, elles correspondent à des situations météorologiques assez différentes. Le premier groupe présente un type de temps caractérisé par une température minimale moyenne de 5.5 °C associée à des pressions basses, un courant-jet zonal, une nébulosité significative et de la pluie. Le deuxième groupe correspond à un temps plus froid (moyenne des températures minimales de -0, 53°C) associé à de plus hautes pressions et à un flux méridien. Nous pourrions alors lier le déclenchement épidémique à des directions du courant-jet advectant des masses d'air froides d'une façon chaotique (soit méridiens soit zonaux). Finalement l'analyse de quelques semaines avec à flux zonal marqué a montré une réalité plus complexe. Les baisses de température sont alors liées à un balancement d'un flux zonal à un flux méridien. Afin d'illustrer ceci nous avons choisi l'exemple de la 2^{ème} semaine de 1991 durant laquelle nous avons clairement observé ce balancement (Fig. n°49 p.171). Les trois quarts de la semaine sont caractérisés par

un courant-jet de sud-ouest. La baisse de température a commencé pendant le week-end à cause d'une translation du flux du sud-ouest au nord : cette semaine a été classée comme zonale mais la baisse de température est liée à un courant jet de nord (un écoulement méridien).

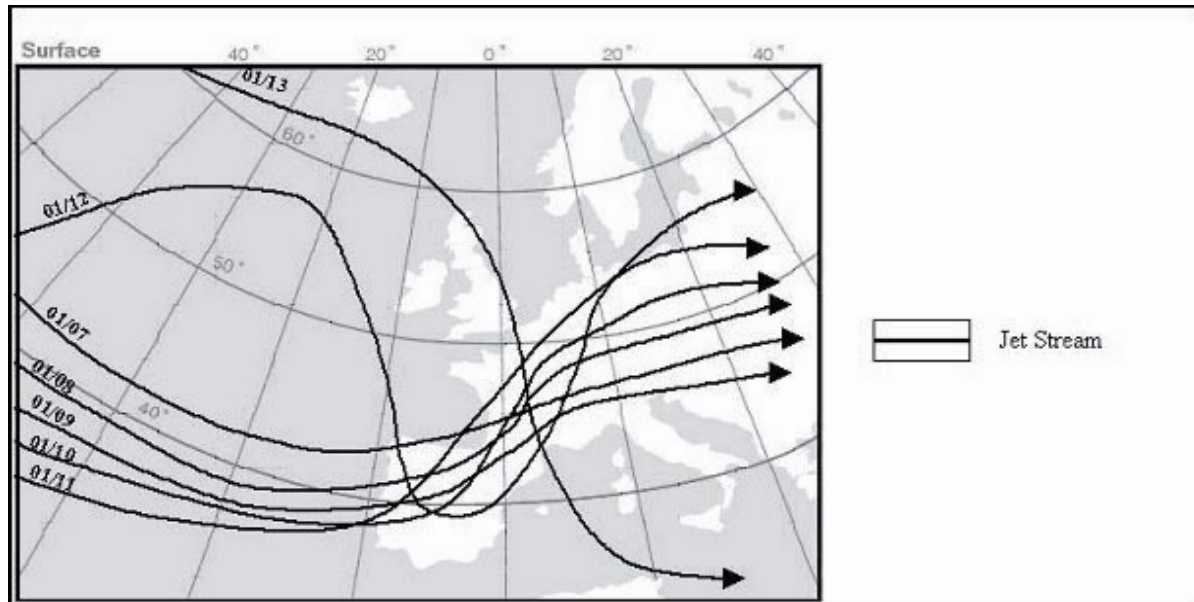


Fig. n°49 : Variation de la direction du Jet-stream à l'échelle hebdomadaire
(Exemple de la 2^{ème} semaine de 1991)

L'importance possible de la direction du flux avait récemment été mise en lumière à une échelle plus restreinte en Espagne (Fernandez d'Arroyabe Hernaez 2004). Dans la majorité des cas associés à la classification du premier groupe, la baisse de température intervient en raison d'un changement de direction du courant-jet (de zonal à méridien) en dépit d'un écoulement zonal moyen. Finalement, les masses d'air froides véhiculées par un flux méridien semblent être d'une importance fondamentale dans la dynamique du déclenchement épidémique.

Après avoir observé cette relation entre la baisse de température générée par certains types de temps et l'augmentation du taux d'incidence en France métropolitaine, nous souhaitons à présent confirmer cette observation en analysant cette hypothétique relation dans un autre pays en mesure de nous fournir tant des données épidémiologiques que climatiques. Après quelques réflexions (et en fonction également de programmes déjà en cours), notre choix s'est rapidement porté sur la Tunisie.

5 - Quels résultats pour la saison froide 2004-2005 en Tunisie ?

Le principal problème réside dans le fait qu'il nous est impossible d'obtenir des séries épidémiologiques et climatiques complètes sur plusieurs années. Seule une saison unique complète a pu être obtenue : 2004-2005. Ainsi, cette comparaison ne se voudra pas exhaustive et scientifiquement indiscutable : elle viendra simplement appuyer, en fonction des résultats obtenus, l'observation faite en France métropolitaine.

5-1 Collecte des données tunisiennes

A la manière de l'étude réalisée en France, deux types de données vont être mises à contribution, celles qui se rapportent à la température et celles concernant les relevés de cas de grippe. En ce qui concerne les données de température de la saison froide (octobre à mars), les relevés utilisés sont ceux effectués à l'aéroport de Tunis-Carthage (issus des bulletins météorologiques tunisiens). Nous bénéficions des maxima ainsi que des minima. Dans la mesure où les statistiques concernant la grippe ne sont disponibles qu'en variation hebdomadaire, la température par semaine est la moyenne des relevés journaliers. Comme on peut le constater, ces données s'écartent sensiblement de la moyenne des températures mensuelles enregistrées pour les années antérieures (Tab. n°15).

Tab. n°15 : Températures mensuelles de Tunis Carthage en 2004-2005 comparées aux moyennes trentenaires (en °C)

| Mois | Temp moyenne 1961-90 | Temp moyenne 2004-2005 | Ecart de temp |
|----------|----------------------|------------------------|---------------|
| | °C | °C | °C |
| Octobre | 25.2 | 27.5 | 2.3 |
| Novembre | 20.5 | 19.4 | -1.1 |
| Décembre | 16.7 | 15.7 | -1.0 |
| Janvier | 15.7 | 13.1 | -2.6 |
| Février | 16.5 | 12.8 | -3.7 |
| Mars | 18.1 | 18.8 | 0.7 |

On note ainsi que les températures de 2004-2005 seraient, de novembre à février, plus basses que celles enregistrées durant l'ensemble de la période 1961-1990. Cet écart serait particulièrement sensible pour le mois de février (-3,7°C). Il conviendrait cependant

d'approfondir cette comparaison en disposant de relevés antérieurs sur des périodes plus courtes car la température moyenne de 1961 à 1990 pourrait, sur une période aussi longue, ne pas être très significative pour caractériser les années 2004-2005.

Les données relatives aux cas de grippe nous ont été transmises par le Dr. Mondher Bejaoui sous-directeur de l'épidémiologie et de la lutte contre les maladies transmissibles en Tunisie. Elles correspondent à des notifications alimentant un réseau Sentinelle de surveillance²⁸ de la maladie. Il s'agit d'un réseau de praticiens médicaux répartis dans tous les gouvernorats tunisiens. A ce titre, rappelons succinctement le découpage administratif tunisien. Le premier sous-échelon administratif tunisien est le gouvernorat (l'équivalent de nos régions) : la Tunisie est composée de 24 gouvernorats répartis comme indiqués sur la fig. n°50.



Fig. n°50 : Les 24 gouvernorats tunisiens

²⁸ Réseaux Sentinelles : CSB, PMI, consultations de pédiatrie, de pneumologie, d'infectiologie, mais aussi les cabinets de consultation privés, et les officines privées.

Les 24 gouvernorats actuels sont divisés en 264 délégations (dirigées par des délégués). La plus petite division administrative est le secteur ou l'imada (dirigées par des chefs de secteurs ou omda) dont le nombre est de 2 073. Ainsi, le système de surveillance épidémiologique est présent dans l'ensemble des gouvernorats. Ce système permet le recueil et la redistribution en temps réel de données épidémiologiques. Il s'agit donc d'identifier dans chaque gouvernorat les cas de grippe au sein de la population des patients ayant consulté un médecin généraliste. Bien évidemment, les patients ayant consulté un médecin généraliste sont évidemment moins nombreux que les grippés de toute la Tunisie. L'estimation du taux de grippe pour l'ensemble de la Tunisie nécessite de déterminer une méthode de pondération appropriée. Les réseaux sentinelles fournissent des pourcentages de cas de grippe relevés par gouvernorat : ce que les autorités sanitaires nomment l'indicateur global (IG). Il s'agit ni plus ni moins du pourcentage de « syndromes grippaux » (aucune définition précise du syndrome grippal n'a pu être obtenue) sur l'ensemble des consultations auprès des membres du réseau. Ainsi, cet IG sur une saison nous permet d'obtenir une lecture assez fidèle de l'évolution de l'épidémie sur l'ensemble du territoire tunisien et nous autorisera de plus à comparer cette même évolution à la courbe de température. La Fig. n°51 présente la courbe de l'épidémie 2004-2005 d'octobre à février.

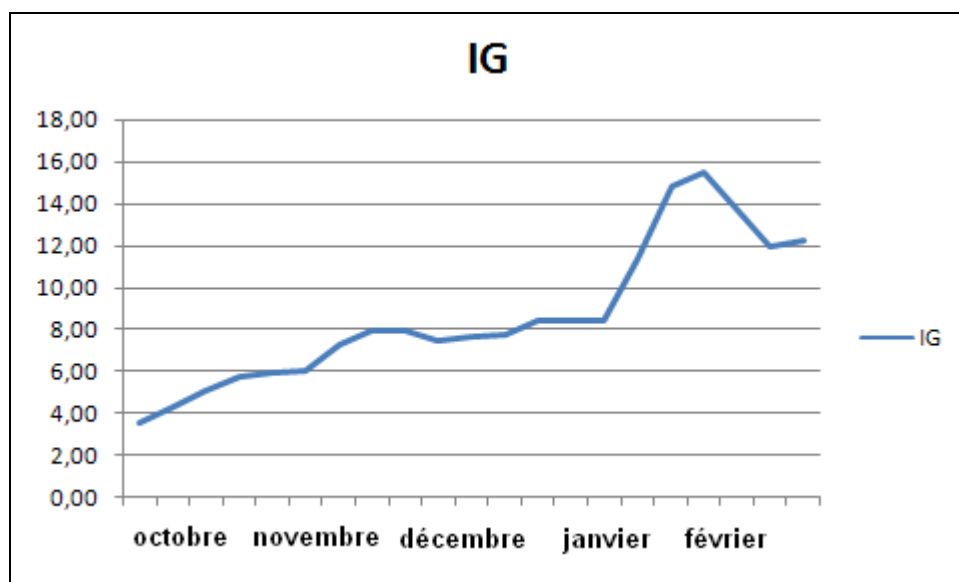


Fig. n°51 : L'épidémie de grippe saisonnière 2004-2005 en Tunisie

Rappelons que compte tenu des différences de taille des gouvernorats en termes de population, les taux de cas de grippe ne peuvent être directement additionnés pour caractériser

la situation de l'ensemble de la Tunisie. De ce fait, il convient de pondérer les effectifs de grippés en les rapportant à la population totale de chaque gouvernorat. Ce bémol est important dans l'optique de développer un peu d'analyse spatiale sur le cas précis de cette épidémie en s'interrogeant sur d'hypothétiques schémas de propagation ou sur les « portes d'entrées de l'épidémie ».

5-2 Existe-t-il un lien entre baisse de température et augmentation de l'activité épidémique ?

La mise en relation entre baisse de température et déclenchement épidémique telle qu'elle a été menée pour la France n'a que peu d'intérêt ici et ce, pour deux raisons : les données sont trop peu nombreuses et le déclenchement épidémique n'est pas clairement défini. En effet, les autorités sanitaires tunisiennes indiquent que l'on bascule en situation épidémique au bout de deux semaines consécutives d'augmentation de l'activité sanitaire > 30%... or, ce cas ne se produit pas lors de la saison considérée... On ne peut visuellement qu'indiquer un ordre d'idée pour le déclenchement épidémique : entre la mi-janvier et la fin-janvier. Néanmoins, nous pouvons tout de même mettre en relation les courbes de températures avec celle de l'indicateur global (Fig. n°52).

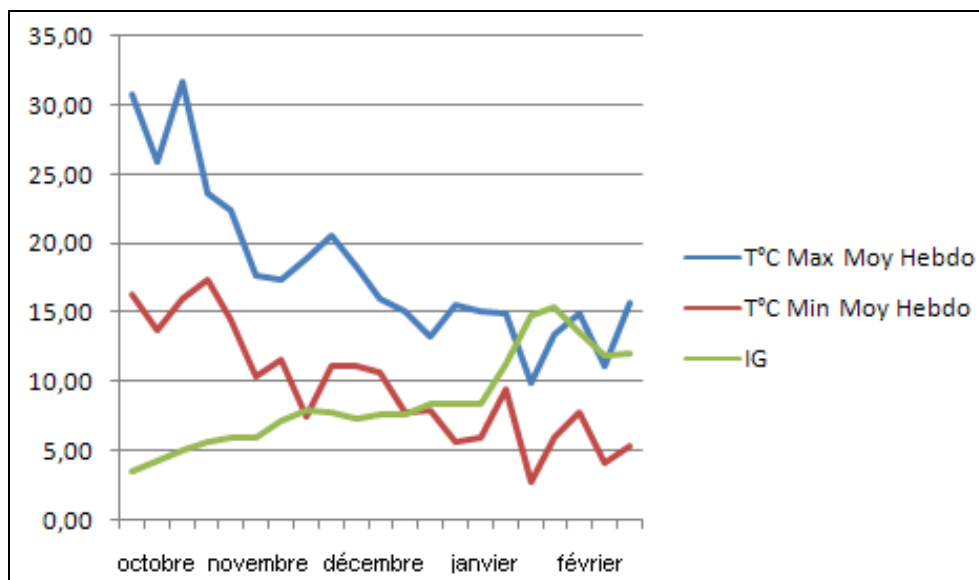


Fig. n°52 : Baisse de température et augmentation des cas de grippe en Tunisie en 2004-2005

Comme observé en France métropolitaine, le déclenchement épidémique intervient après une baisse significative de la température. Ceci semble encore plus significatif pour les

températures minimales dont la baisse atteindrait presque les 8°C avant le déclenchement épidémique. En outre, le déclenchement ne correspond pas de manière synchrone à la reprise de l'école suite aux congés de fin d'année, ce qui rendrait compte d'un stimulus environnemental au sens physique du terme plus que des facteurs strictement sociaux. L'analyse des corrélations entre l'indicateur global et les températures est également édifiante dans ce cas précis.

| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Mini | Maxi | Moyenne | Ecart-type |
|----------|--------------|------------------------------|------------------------------|-------|-------|---------|------------|
| T°C Min | 21 | 0 | 21 | 2,786 | 17,35 | 9,67 | 4,16 |
| IG | 21 | 0 | 21 | 3,584 | 15,44 | 8,63 | 3,35 |

Matrice de corrélation (Pearson)

| Variables | T°C Min | IG |
|-----------|---------------|---------------|
| T°C Min | 1 | -0,794 |
| IG | -0,794 | 1 |

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

p-values

| Variables | T°C Min | IG |
|-----------|--------------------|--------------------|
| T°C Min | 0 | < 0,0001 |
| IG | < 0,0001 | 0 |

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Coefficients de détermination (R²) :

| Variables | T°C Min | IG |
|-----------|--------------|--------------|
| T°C Min | 1 | 0,630 |
| IG | 0,630 | 1 |

Fig. n°53 : Sortie XL-Stats - Corrélation T°C Min Moyenne Hebdo/Indicateur Global

La corrélation entre l'indicateur global et les températures minimales moyennes hebdomadaires sont inverses et significative : coef = -0,794 (p<0,0001). Elle suggère un lien

inverse entre la température et les cas de grippe déjà observé pour la France : la baisse de la température s'accompagne d'une augmentation des cas de grippe (Fig. n°53 p.176). La grippe maladie de saison froide, se propage à mesure que la température s'abaisse : la Tunisie ne fait pas exception. L'analyse de corrélation entre les températures maximales moyennes hebdomadaires donne des résultats sensiblement similaires (Fig. n°54).

| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|----------|--------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| IG | 21 | 0 | 21 | 3,584 | 15,440 | 8,635 | 3,355 |
| T°C max | 21 | 0 | 21 | 9,914 | 31,733 | 18,232 | 5,830 |

Matrice de corrélation (Pearson) :

| Variables | IG | T°C max |
|-----------|---------------|---------------|
| IG | 1 | -0,782 |
| T°C max | -0,782 | 1 |

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

p-values :

| Variables | IG | T°C max |
|-----------|--------------------|--------------------|
| IG | 0 | < 0,0001 |
| T°C max | < 0,0001 | 0 |

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Coefficients de détermination (R²) :

| Variables | IG | T°C max |
|-----------|--------------|--------------|
| IG | 1 | 0,611 |
| T°C max | 0,611 | 1 |

Fig. n°54 : Sortie XL-Stats - Corrélation T°C Max Moyenne Hebdo/Indicateur Global

La corrélation entre les températures maximales moyennes hebdomadaires et l'indicateur global reste élevée : coef = - 0,782 (p<0,0001). Celle-ci suggère le même type de lien évoqué précédemment. Le plus important désormais est de tenter de lier le déclenchement épidémique à un type de temps à la manière de ce qui a été réalisé pour la France métropolitaine. Ainsi,

bien que n'ayant pas de date précise de déclenchement hormis une appréciation visuelle de la courbe, nous allons regarder la situation météorologique de la fin janvier 2005 afin de voir si un schéma de circulation méridienne s'est mis en place sur la Tunisie juste avant le déclenchement épidémique.

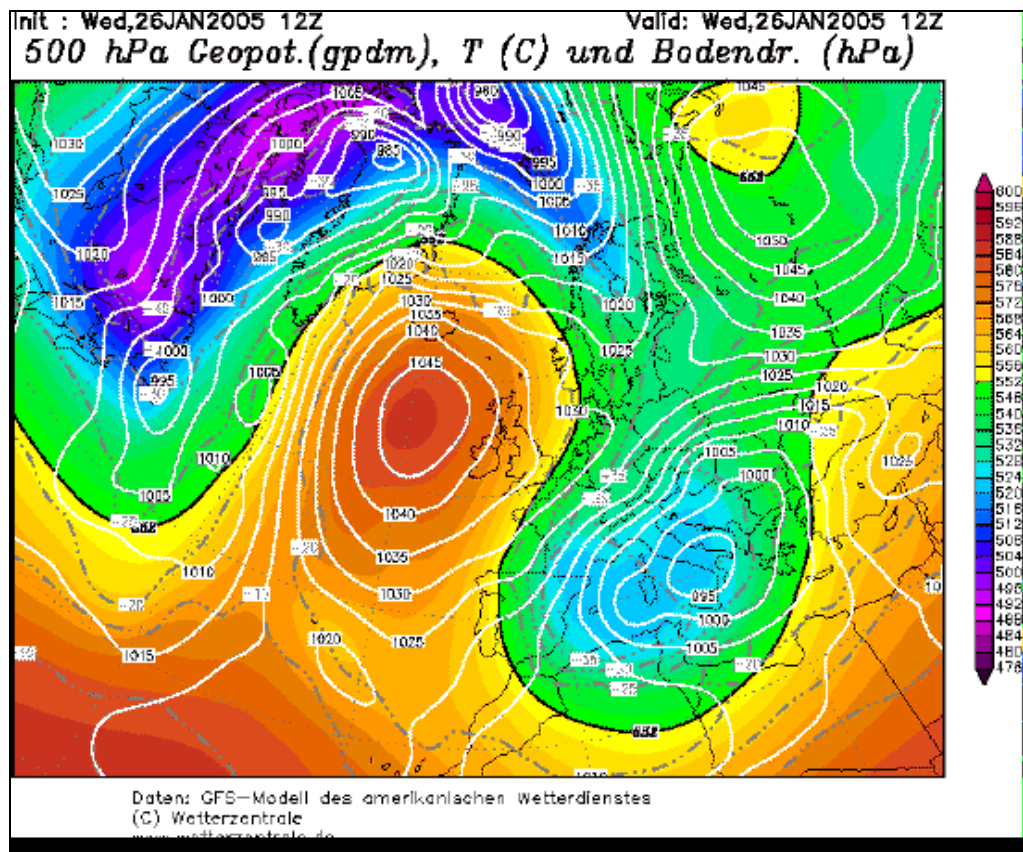


Fig. n°55 : Situation en altitude sur l'Europe de l'ouest et le Maghreb le 26 janvier 2005

La situation observée le 26 janvier est une situation hivernale type sur l'Europe de l'ouest. Le flux d'ouest est bloqué par deux individus isobariques qui le contraignent à réaliser un méandre d'une grande ampleur latitudinale (Fig. n°55). Un haut géopotential posté au large des îles britanniques repoussent le courant jet vers le nord avant de le faire plonger, à la longitude d'Oslo et de Paris, vers le sud. C'est alors que le jet stream va contourner le deuxième individu isobarique : un bas géopotential centré sur le sud de l'Italie. C'est cette goutte froide qui va advecter des masses d'air polaires continentales : de la Russie au Maghreb. Cette situation engendre bel et bien une baisse de température sur la Tunisie. L'air froid des plaines d'Europe centrale et tout simplement véhiculé par un flux de nord/nord-est vers le nord algérien et le nord tunisien. Les situations de blocage du flux d'ouest sont, somme toute, fréquentes en Europe de l'ouest. Dans le cas présent c'est l'amplitude du

méandre du jet qui est notable. Les coulées froides type « Paris-Moscou » sont observées quasiment chaque années, celles de type « Bucarest-Tunis » sont plus rares. Ainsi, à la manière de ce qui a été observé en France métropolitaine, et toutes proportions gardées (du fait de la maigreur des séries abordées et des approximations méthodologiques), nous constatons en Tunisie que le déclenchement épidémique de 2004-2005 fait suite à une baisse de température générée par un flux méridien. Il est bien évident que cette observation n'a aucune valeur statistique mais pousse néanmoins à confirmer peu à peu les travaux menés sur la France. Il convient malgré tout (tout en rappelant une fois n'est pas coutume les approximations méthodologiques) de s'interroger sur la propagation de cette épidémie.

5-3 Evolution spatio-temporelle de l'épidémie de grippe en Tunisie (2004-2005)

Pour conduire l'analyse cartographique, les effectifs de cas de grippe hebdomadaires de chacun des gouvernorats durant l'année 2004-2005 ont été regroupés en quatre classes d'amplitude égale. On a construit ces classes en considérant les minima et maxima annuels enregistrés de cas de grippe pour l'ensemble du pays. Le choix de retenir quatre classes d'amplitude égale a été arrêté à l'issue d'un processus d'essai de plusieurs jeux de représentation cartographique. Nous avons sélectionné cette classification car elle représentait plus clairement l'évolution de la maladie. Les cas de grippe enregistrés les plus élevés sont compris entre 1,51 et 2,01 % du total de la population et sont représentés en rouge. Tandis que les cas les plus faibles, compris entre 0,01 et 0,51 %, sont identifiés en jaune. Les valeurs manquantes, qui peuvent exister dans certains cas (pour un gouvernorat ou une période), sont en blanc.

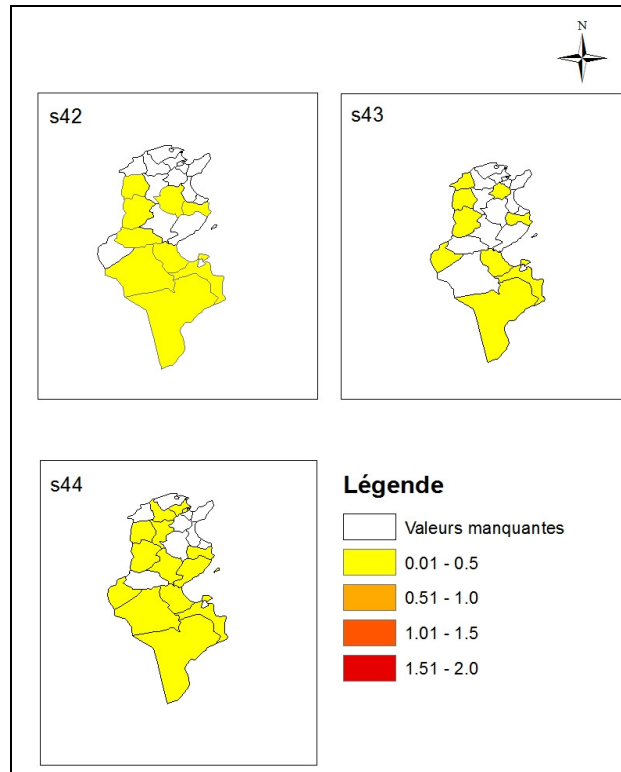


Fig. n°56 : Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (octobre 2004)

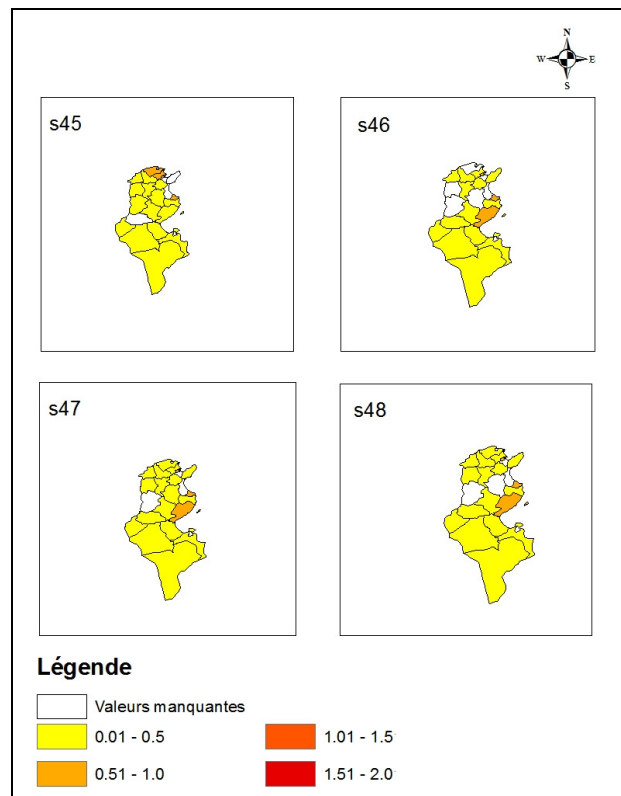


Fig. n°57 : Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (novembre 2004)

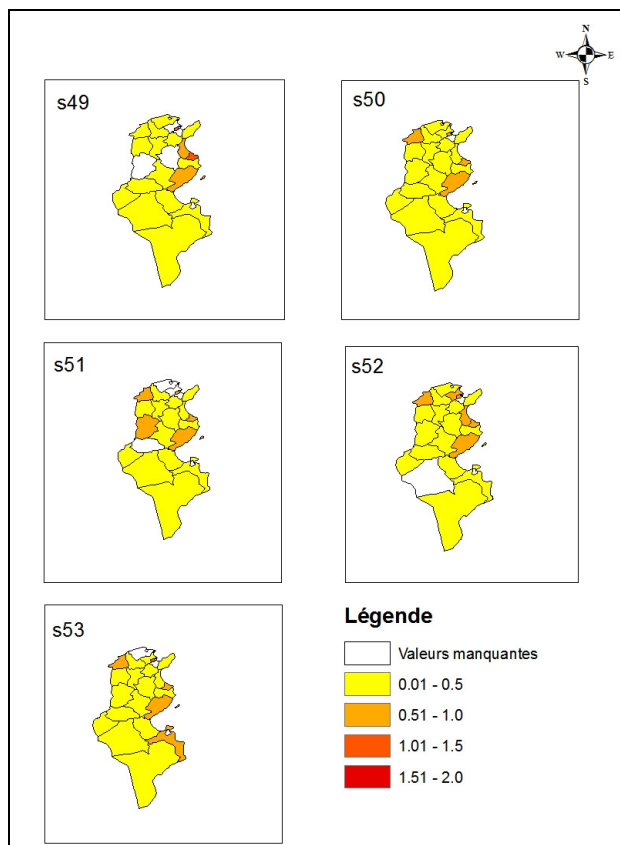


Fig. n°58 : Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (décembre 2004)

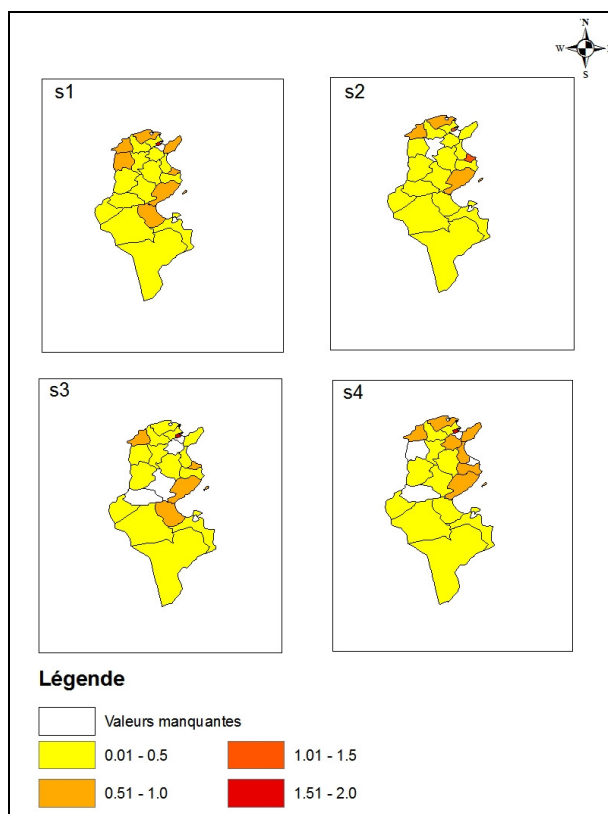


Fig. n°59 : Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (janvier 2005)

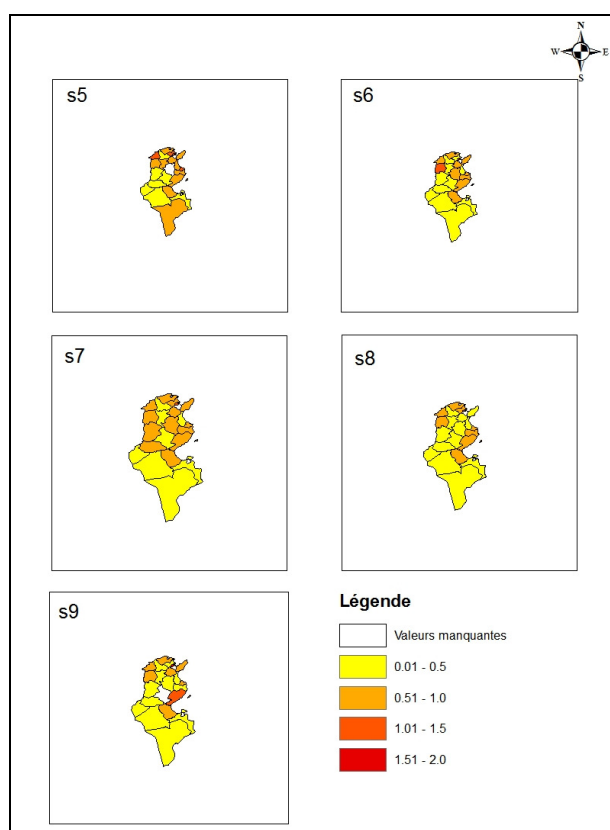


Fig. n°60 : Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (février-mars 2005)

La grippe semble se déclarer sur le territoire tunisien à partir de la première semaine de novembre au niveau de Tunis, Bizerte, et Monastir (Fig n°57 p.180). Peu à peu, les cas de grippe se multiplient sur le littoral tunisien durant le mois de décembre (Fig. n°58 p.181). Lors de la troisième semaine du mois de janvier, les cas de grippe se généralisent sur l'ensemble du littoral et se propagent dans l'intérieur des terres, mais le phénomène reste malgré tout cantonné au nord du pays (semaines 3 et 4) (Fig. n°59 p.181)). Le mois de février représente la période de contamination la plus élevée puisque le littoral et l'intérieur du pays sont concernés (semaines 5 à 7). A la fin du mois de février on observe une sensible régression (Fig. n°60). Finalement, jusqu'au mois de décembre, aucun gouvernorat n'est particulièrement touché par le virus, comme le montre les cartes de répartition des cas de grippe. A partir du mois de janvier un nombre de cas plus important est déclaré dans les gouvernorats du nord et du littoral et, lors de la troisième semaine de février, la maladie s'étend brièvement à l'intérieur des terres. Cette progression spatiale de la grippe semble bien correspondre à celle de la vague de froid hivernale qui touche le pays à cette époque de l'année. Ainsi, sans prétendre être une vérité absolue pour l'ensemble des épidémies de

grippes en Tunisie, force est de constater que l'observation ci-présentée correspond aux résultats évoqués précédemment sur la France métropolitaine.

Au-delà des nombreuses réserves méthodologiques admises et assumées, le survol des cartes présentées ouvrent d'autres perspectives dans la lignée de celles dors et déjà avancées pour la France. L'action climatique est, rappelons notre hypothèse, une condition nécessaire mais non suffisante au déclenchement épidémique. Ainsi, le déplacement de la grippe à partir du littoral tunisien suggère une explication complémentaire à celle du froid qui pourrait se rapporter à un mécanisme d'introduction du virus par l'activité touristique. Le déplacement de la grippe suit en effet le chemin principalement côtier emprunté par les touristes en Tunisie. (Monastir, Tunis, Jendouba, Sfax, Nabeul, Medenine...). Le tourisme tunisien est principalement à vocation balnéaire et se situe, *de facto*, sur le littoral. C'est une activité importante (10 % du PIB) et croissante depuis les années 1960. Les équipements sportifs, golfs et marinas autour des ports de plaisance attirent les tours opérateurs ouest européens (1996, Miossec). Au total, il y a eu en 2004, (J.F Troin, 2006) près de 6 millions de touristes en Tunisie²⁹ ce qui représente un mouvement important, si on considère les 10 millions d'habitants de la Tunisie. La population tunisienne peut avoir été contaminée à partir de cette vague de vacanciers européens. Les trois principaux pays d'origine du tourisme en Tunisie sont la Libye, la France, et l'Algérie³⁰ (Office National du Tourisme tunisien) et ils représentent à eux seuls plus de la moitié des entrées en Tunisie. La clientèle touristique européenne reste globalement dominante avec en première place la France et puis l'Allemagne, la Grande Bretagne et l'Italie³¹. Cette particularité de la présence européenne trouve ses origines dans le lien historique qui a uni la Tunisie avec l'Europe et notamment la France. Cet afflux de touristes européens est particulièrement dense durant la période hivernale. Les données Sentinelles de l'hiver 2004-2005 indiquent que la France connaît un taux d'incidence grippale supérieur à 500 pour 100 000 habitants durant la première semaine de février. C'est en effet en hiver que la propagation de la maladie est très importante en Europe. Or, le maximum du taux de grippe en Tunisie en 2004-2005 se situe justement pendant la deuxième semaine de février

²⁹ 10 % seulement des touristes séjournent à Tunis, 30 % vont au Sahel entre El Kantaoui et Mahdia port el Kantaoui (15 000 lits) puis entre Nabeul- Hammamet (45 000 lits), Sousse (25 000) et Monastir (25 000), Mahdia (10 000) est juste au sud de Monastir, 20 % à Djerba et Zarzis.

³⁰ Le marché maghrébin est également important puisque les 4 pays concernés représentent près de 38% du volume global des entrées (soit 2,5 millions de touristes).

³¹ (France : 1 335 409 visiteurs (+ 8,2 % par rapport à 2006) ; Allemagne : 514 040 (- 6,1 %) ; Italie : 444 474 (- 4,3 %) ; Grande-Bretagne : 312 773 (- 10,8 %))

sensiblement après la période des vacances³² française. On pourrait supposer qu'une partie de ces vacanciers porteurs du virus ont pris pour destination la Tunisie : ceci ne reste bien entendu qu'une hypothèse qui ne demande qu'à être, à l'avenir, confirmée.

Conclusion partielle

L'étude de l'ensemble des paramètres climato-météorologiques montre un certain nombre de résultats très intéressants. La majeure partie des épidémies de grippe en France métropolitaine semblent être précédées par une baisse de température dans un laps de temps de 3 semaines. L'étude de chaque paramètre méritera à l'avenir d'être approfondie. Malgré tout, des liens avec l'humidité ou l'alternance du flux semblent se poser avec acuité. C'est finalement en intégrant l'ensemble de ces paramètres dans le cadre d'une classification que sont ressortis des types de temps récurrent en période pré-épidémique. Les types de temps liés à des circulations d'altitude méridiennes sont responsables de la plupart des baisses de températures génératrices du déclenchement épidémique. Afin de confirmer cette observation, nous avons reproduit une partie de cette analyse en l'appliquant à la Tunisie.

La Tunisie, pays de l'hémisphère nord, ne fait pas exception et connaît une épidémie saisonnière de grippe en saison froide boréale. Bien que sous la surveillance de l'Organisation Mondiale de la Santé, il demeure difficile d'obtenir de leur part des données chiffrées, continues et précises. Ainsi, sous l'impulsion d'acteurs de la Santé Publique en Tunisie, un réseau de surveillance épidémiologique a, ces dernières années, vu le jour. Bien entendu, comme tout nouveau réseau, des nombreux points sont à améliorer : à ce titre l'OMS a émis un certain nombre de recommandations, à commencer par une meilleure définition des cas de grippe. Une plus grande diversité en termes de provenance des données serait également profitable : comme souvent, les grandes villes fournissent la majeure partie des données alors que des portions entières du territoire restent muettes. Malgré ces quelques bémols qui seront, avec le temps, corrigés nous pouvons cependant louer cette initiative qui ouvre d'intéressantes perspectives de recherche trans-méditerranéennes.

Les résultats de ces modestes observations menées sur la Tunisie suggèrent donc, comme en France, un lien entre baisse de température et déclenchement épidémique. Bien entendu, le

³² Vacances d'hiver du Samedi 12 février 2005 Lundi 28 février 2005 pour la zone A, du Samedi 5 février 2005 Lundi 21 février 2005 pour la zone B, du Samedi 19 février 2005 Lundi 7 mars 2005 pour la zone C.

déclenchement en tant que tel n'a pas précisément été défini par les autorités sanitaires tunisiennes, nous avons dû nous baser sur une approximation visuelle issue de la courbe de l'indicateur global. Néanmoins, la période de déclenchement fut nettement isolée et les conditions climatiques antérieures (notamment en termes de température) analysées. Ainsi, la baisse de température incriminée fut générée par une goutte froide centrée sur le sud de l'Italie qui véhicula des masses d'air continentales froides dans un flux méridien ce qui est conforme aux observations menées sur la France métropolitaine.

Après avoir mis en avant ces « types de temps » récurrents en période pré-épidémique, nous souhaitons désormais évoquer les mécanismes biologiques explicatifs de la survie du virus ainsi que de l'augmentation de la vulnérabilité des populations.

II - Définir le risque grippal

1- Le climat, facteur d'aléa et de vulnérabilité

Analyser la grippe par le prisme du risque est moins aisé que nous aurions pu le penser de prime abord. En effet, si la dichotomie « aléa-vulnérabilité » a bien lieu d'être dans ce cas d'étude, notre grille d'analyse ne doit en aucune manière être binaire tant vulnérabilité et aléa se confondent. Des facteurs stimulent l'aléa quand ils accroissent la vulnérabilité. Qui est l'aléa ? Qu'est-ce-que la vulnérabilité ? Qui est vulnérable ? La vulnérabilité, elle-même, est-elle une entité unique ou revêt-elle plusieurs formes ?

Nous avons, d'ores-et-déjà, avancé le caractère saisonnier de la grippe et mis en évidence des situations synoptiques observées de manière récurrente avant le déclenchement épidémique. Néanmoins, ces réalités climato-géographiques ne doivent pas nous amener à conclure trop hâtivement à une relation de cause à effet « baisse de la température » = « déclenchement de l'épidémie » sans se poser cette simple question mais pourtant si importante : pourquoi ? Pourquoi la chute de température, et plus largement la basse température observée à la fin de la baisse, est suivie par le déclenchement épidémique ? L'étude de la saisonnalité de la grippe a conduit nombre de spécialistes à avancer que la maladie semble associée à l'hiver et aux temps froids et humides (Hannoun et al. 2003). Des études récentes remettent d'ailleurs en cause l'importance de cette humidité élevée : nous y reviendrons. Il est évident que la distribution de cette maladie est liée pour une grande part à la température et aux conditions saisonnières. La saison est importante car la température et l'humidité jouent très certainement un rôle sur les paramètres de la transmission, sur la survie du virus dans l'air, sur la vulnérabilité des individus.

C'est ainsi que nous aborderons plusieurs points issus d'une analyse bibliographique biomédicale permettant de préciser l'importance des facteurs climatiques sur le risque de contracter une grippe. La baisse de température précédemment étudiée peut ainsi être perçue comme un stimulateur de l'aléa : il conviendra ainsi, dans un premier temps, de nous interroger sur les connaissances actuelles relatives aux conditions de survie des virus grippaux. Parallèlement, si le virus est mieux conservé, peut-être que le corps humain est alors plus vulnérable lors de conditions propres à la saison froide. Nous nous pencherons alors sur l'impact du froid sur la vulnérabilité des organismes face aux infections respiratoires. Enfin,

une autre explication énonce que les meilleures transmissions sont induites, mais cette fois de manière indirecte, par le climat. Un temps froid et humide pousse les populations à passer plus de temps dans les espaces confinés, confinement qui favorise la transmission. Cette dernière explication, complétée par certaines observations permet d'entrevoir l'importance d'une autre vulnérabilité plus sociale et donc des perspectives clairement géographiques. Y-a-t-il des lieux où les populations passent plus de temps en hiver ? Y-a-t-il des lieux où les populations se fréquentent plus ? Ces lieux de forts brassages de populations sont-ils équirépartis sur le territoire ? Enfin, ces lieux sont-ils habités de populations également vulnérables ? C'est à ces questions, qui constituent une des ossatures géographiques de cette thèse, que nous essaierons de répondre dans un dernier temps.

1-1 Le climat, facteur d'aléa et de vulnérabilité

Comme énoncé ci-dessus, le climat est autant un facteur d'aléa que de vulnérabilité. De manière plus précise, le climat stimule le virus en lui offrant des conditions de survie dans l'air plus ou moins efficaces en fonction de certains paramètres météorologiques que nous avancerons. Dans le même temps, le climat joue sur la vulnérabilité des populations. N'y-a-t'il point un effet du climat sur les organismes augmentant les vulnérabilités aux affections respiratoires ? Finalement, en avançant ce double effet du climat sur l'aléa et la vulnérabilité, n'est-il pas possible de dresser une carte d'exposition à ce/ces facteurs climatiques aggravant sur le territoire français ?

Les théories sur les variations saisonnières de la grippe prolifèrent depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle. Les hypothèses actuelles s'orientent dans des directions très variées mais toutes tournent autour de la saisonnalité marquée sous les climats tempérés. Certaines équipes travaillent sur la baisse d'efficacité du système immunitaire en liaison avec la variation du niveau de mélatonine (Dowel 2001) ou de vitamine D (Cannell et al. 2006) dans le corps humain en saison froide. D'autres chercheurs mettent en avant les changements comportementaux saisonniers : la présence à l'école, les trajets aériens (Brownstein et al. 2006) ou la tendance au confinement lors de conditions extérieures trop froides et/ou trop humides. Enfin, certaines équipes évoquent des conditions de températures et d'humidité particulières favorisant une meilleure transmission virale.

1-1-1 Quelles conditions optimales de transmission du virus grippal ?

L'étude des conditions optimales de transmission d'un virus n'est pas nouvelle mais date du milieu du XX^e siècle. Les équipes de recherche constatent qu'il y a presque autant de travaux de recherche que de virus différents. Une étude fournit les conditions de transmission du virus grippal sur des souris. Ce travail se compose de deux parties (Shulman, Kilbourne 1963). La première s'attache à analyser ce que les auteurs nomment la période de « transmissibilité » tandis que la seconde tend à mettre en lumière des facteurs permettant une meilleure transmission de l'infection. Il est acquis depuis les années 1930 que les souris sont sensibles à l'infection virale de la grippe humaine : c'est la raison pour laquelle elles sont préférentiellement utilisées comme « cobayes ». Les auteurs ont réalisé plusieurs essais en laboratoire afin de développer un modèle d'étude expérimentale de transmission de la grippe sur les souris. Ce modèle est alors employé dans l'étude des facteurs épidémiologiques, virologiques et écologiques supposés jouer dans le processus de transmission de la grippe. Des souris saines sont placées dans une boîte fermée et sont soumises à des aérosols chargés en virus grippal (virus A1 et virus A2) pendant 24 heures. Immédiatement après l'inoculation du virus, celles-ci sont placées deux par deux dans des cages le temps de l'incubation. C'est alors qu'intervient la période de contact : souris infectées et non-infectées sont placées ensemble dans une même cage pendant 24 heures. Durant ce laps de temps, toutes les souris sont amenées à boire à la même source d'eau. Après cette période de contact, les chercheurs initient enfin une période de quarantaine. Les souris initialement non-infectées sont extraites de cette cage : des prélèvements sont alors réalisés sur leurs poumons afin de révéler ou non la présence du virus. Des expériences sont ensuite menées afin de déterminer la période de transmission optimale. Les principaux résultats semblent montrer que la souris porteuse du virus ne transmet l'infection qu'entre 24 et 48 h après sa propre contamination. Le fait qu'un délai de 24 h soit nécessaire avant de pouvoir transmettre le virus n'est en aucune manière étonnant : ce temps doit correspondre à l'incubation, le temps de la multiplication du virus au sein de l'appareil respiratoire. Cependant, le fait que la capacité de transmission décline fortement au-delà de 48h n'a pas pu formellement être expliqué. Les auteurs avancent alors un possible déclin de la concentration virale dans l'appareil respiratoire sans en connaître les causes réelles. La seconde expérience est, dans le cadre de cette thèse, des plus intéressantes. En effet, à la suite de l'analyse de conditions de transmissibilité, l'effet sur la transmission du changement de types d'hôte ou de conditions environnementales est devenu potentiellement

cernable. Plusieurs résultats ont pu être mis en évidence. Tout d'abord, l'âge des souris est apparu comme un facteur important de susceptibilité au virus grippal. Les souris plus âgées contractent plus facilement la grippe (elles sont plus vulnérables), cependant elles ne sont pas pour autant de meilleurs vecteurs en ce sens qu'elles ne transmettent pas le virus plus efficacement que des souris plus jeunes. Deuxième acquis, les auteurs ont montré, sans en expliquer les causes, que la transmission du virus semble plus efficace en saison froide. Une expérience d'un an a même été reconduite sur des souris mais, cette fois-ci en contrôlant température et humidité maintenues constantes (HR=50% ; T°C=22°C). Il apparut clairement dans cette seconde expérience que les taux de transmission de la grippe n'étaient plus significativement plus élevés entre novembre et avril qu'entre mai et octobre. Il y a donc un effet des facteurs météorologiques sur les conditions de transmission des virus.

Les deux décennies suivantes furent l'objet d'une prolifération d'études liant (avec des fortunes diverses) des facteurs météorologiques et des conditions préférentielles de transmission et/ou de conservation virale. Conscient du foisonnement de travaux presque aussi nombreux que les virus eux-mêmes, nous évoquerons l'étude liant des paramètres atmosphériques précis avec la survie du rotavirus humain d'Ijak et al. (1985). Des conditions de températures et d'humidité furent encore mises en évidence dans la plus ou moins bonne survie du virus. Il n'est point question de seuil de tel ou tel facteur ici mais plutôt de combinaisons optimales permettant la conservation du virus. A 20°C le virus survit mieux avec une humidité relative de 50%. Cette survie diminue si l'HR s'abaisse mais diminue encore plus significativement si l'HR devient forte (80%). Il fut ainsi noté qu'à 20°C et HR=50%, 80% des particules en suspension sont toujours infectées par le rotavirus au bout de 24 heures. Il est clair que des conditions environnementales particulières doivent pouvoir jouer tant sur la transmission du virus que sur sa conservation dans l'air. Ainsi le virus est plus ou moins bien conservé dans l'air, plus ou moins bien transmis sous l'effet de conditions particulières en saison froide si bien que la grippe est une maladie de saison froide mais variable. Existe-t-il des facteurs météorologiques permettant une plus ou moins bonne dissémination des virus dans l'air ?

De la même manière, de nombreuses études se sont penchées sur ces questions. Mettons l'accent sur les derniers acquis.

Une étude récente a testé l'hypothèse selon laquelle la température de l'air ambiant tout comme l'humidité relative jouaient sur l'efficacité de la transmission du virus de la grippe (Lowen et al. 2007). Le cobaye fut utilisé comme modèle de mammifère : en effet, à la

manière des souris, les cobayes sont hautement sensibles aux virus grippaux humains (Lowen et al. 2006). De plus, le cobaye semble transmettre beaucoup plus facilement le virus d'un sujet infecté à un sujet sain. Ainsi, en mêlant animaux infectés et non-infectés dans un même espace confiné, il a été possible d'analyser l'efficacité de la transmission sous des conditions de température et d'humidité différentes et totalement contrôlées. En utilisant le cobaye comme un hôte modèle, cette étude montre que la diffusion dans l'air du virus de la grippe est dépendante tant de l'humidité relative ambiante que de la température. Des essais de transmission virale menés aux humidités relatives de 20 % à 80 % et 5°C, 20°C, ou 30°C ont indiqué que tant le froid que des conditions sèches favorisent la transmission. La relation entre la transmission par aérosols et l'humidité relative à 20°C implique que les effets de l'humidité agissent en grande partie au niveau de la particule virale. Pour des cobayes infectés placés dans un espace maintenu à 5°C, la durée du pic de transmission virale était environ 40h plus longue que celle d'animaux hébergés à 20°C. Des réponses innées se sont avérées être comparables entre des animaux hébergés à 5°C et 20°C, suggérant que la température froide (5°C) ne détériore pas la réaction immunitaire innée dans ce système. Bien que le caractère saisonnier de la grippe soit admis, les raisons sous-jacentes de la prédominance de la diffusion hivernale ne sont pas claires. Cette étude fournit la preuve expérimentale directe du rôle des conditions météorologiques dans la dynamique de grippe et aborde ainsi une question fondamentale pour la compréhension de l'épidémiologie de la grippe.

Les principaux résultats de cette expérience menée sous diverses HR et températures sont alors les suivants :

- l'efficacité de la transmission est dépendante de l'humidité relative. Les résultats d'expériences de transmission exécutées à 20°C et à cinq HR différentes (20%, 35%, 50%, 65% et 80%) ont indiqué que l'efficacité de la diffusion du virus par aérosols varie en fonction de l'humidité relative. La transmission est fortement efficace (effective sur 3 ou 4 des 4 cobayes exposés) aux valeurs de RH basses de 20% ou 35%. À l'exception des mauvaises transmissions à 80% d'humidité, la relation observée entre la transmission et l'humidité relative est semblable à celle entre la stabilité de virus de la grippe dans un aérosol et l'humidité relative (Schaffer 1976), suggérant qu'à 20°C la sensibilité de transmission à l'humidité est due en grande partie à la stabilité virale.
- l'efficacité de la transmission est inversement corrélée à la température. Pour évaluer si des températures froides augmenteraient la transmission, la température ambiante dans la chambre a été abaissée à 5°C et les expériences ont été exécutées sous des

humidités relatives comprises entre 35 et 80%. Généralement la transmission était plus efficace à 5°C : des taux de transmission de 75 à 100% sont observés sous des humidités relatives de 35 et 50%. Un taux de transmission de 50 % a été observé à 65% et 80% d'humidité relative. Dans le même temps, quand la température ambiante a été augmentée à 30°C et sous une faible HR de 35 %, aucune transmission n'a été observée.

- la diffusion du virus est favorisée chez les animaux à 5°C. Les changements d'humidité relative n'affectent pas la vitesse de diffusion du virus dans les cobayes inoculés contrairement aux changements de température.
- la réaction immunitaire n'est pas affectée à température ambiante basse. Les différences observées dans les concentrations virales des animaux hébergés à 20°C et 5°C ont permis de penser que la température froide a diminué le potentiel de défense immunitaire dans les premiers temps de l'infection. Aucune des données produites dans le cadre de cette étude indiquent une variation de la réponse immunitaire à 20°C plus qu'à 5°C. Ces résultats vont à l'encontre de l'idée selon laquelle le froid engendre un affaiblissement de la réaction immunitaire. Notons que ce point est encore très discuté.

Au total, trois mécanismes pourraient potentiellement expliquer l'influence de l'humidité relative sur la transmission : respirer un air sec provoque un assèchement des muqueuses et rend plus vulnérable ; l'air sec jouerait sur la particule virale et permettrait une meilleure stabilité de celui-ci ; enfin, dans un air sec, l'évaporation de l'eau issue des aérosols biologiques (toux, éternuements etc.) intervient plus rapidement permettant une meilleure dissémination. Concernant la faible température, il est mentionné que l'air froid joue très probablement sur la muqueuse nasale en ralentissant les mécanismes de nettoyage et permet, de fait, une diffusion plus rapide du virus au sein de l'appareil respiratoire. Ainsi, la conception selon laquelle les conditions extérieures favoriseraient une meilleure conservation et une meilleure transmission du virus dans l'air ne semble pas à écarter. Malgré tout, à la lumière des derniers exemples cités, il n'apparaît pas inutile d'envisager le froid comme un élément pouvant affaiblir l'individu, devenu alors plus vulnérable.

1-1-2 Des individus affaiblis en saison froide

En chiffre absolu, le froid est plus meurtrier que la chaleur. La mortalité associée au froid dépasse ainsi le cadre des quelques décès annuels par hypothermie des sans-abri. Des variations saisonnières avec un pic hivernal sont observées dans plusieurs pathologies, entre autres les maladies coronariennes, les accidents vasculaires cérébraux et les maladies respiratoires : la mortalité augmente de façon quasi linéaire à mesure que la température diminue (INVS 2003). S'il est certain que le froid rend vulnérable à bon nombre de pathologie, nous nous intéresserons ici aux seuls facteurs de recrudescence des pathologies respiratoires en hiver. Plusieurs mécanismes ont été invoqués pour expliquer l'augmentation de la pathologie respiratoire durant l'hiver. Le froid pourrait diminuer la résistance immunitaire face aux maladies respiratoires infectieuses (CDC, 1999). Par ailleurs, l'inhalation d'air froid déclenche une bronchoconstriction. Les situations d'air sec (humidité relative basse) semblent plus fréquemment associées aux pics saisonniers des infections respiratoires. La faible humidité pourrait dessécher les muqueuses et donc réduire leur résistance à l'infection. D'autres études (Howe 1961) ont montré que la mortalité hebdomadaire due aux maladies respiratoires était également associée à la température et à l'humidité relative, mais la forte corrélation entre ces deux paramètres ne permet pas d'interprétation plus poussée. La grippe contribue indirectement à l'excès de mortalité hivernale (Huynen *et al.* 2001). La pollution atmosphérique constitue un facteur de risque supplémentaire (Bobak 1997). Aux Etats-Unis, le nombre de décès par grippe, pneumonie et bronchite culmine en décembre et en janvier. Il semble aussi exister une forte corrélation entre la baisse de température et la mortalité par grippe et bronchites aiguës et chroniques. Les personnes âgées de plus de 60 ans sont plus à risque. Les mois hivernaux où l'humidité est faible et où il y a peu d'aération dans les constructions chauffées sont propices à la propagation de maladies respiratoires infectieuses (Howe 1962). D'après l'OMS, les types de temps secs et froids favorisent une survie plus longue du virus de la grippe à l'extérieur de l'organisme, raison pour laquelle les épidémies saisonnières surviennent en hiver dans les climats tempérés. Dans le cas des maladies respiratoires, la vaccination contre la grippe et le traitement des infections secondaires devrait permettre de réduire la surmortalité (Donaldson *et al.* 1997). Quand la température ambiante est suffisamment basse pour entraîner une diminution de la température de l'être humain en dessous de 37°C, on observe une vasoconstriction cutanée qui permet d'isoler les tissus périphériques du compartiment central. Ceci crée, de fait, un gradient thermique entre la peau et les organes vitaux profonds

(cœur, cerveau, rein). La vasoconstriction s'accompagne d'une hypertension artérielle et d'une augmentation du tonus sympathique (système nerveux autonome) qui se traduit en particulier par une accélération du rythme cardiaque. On observe une augmentation de la concentration plasmatique de 10 % des globules rouges, des leucocytes, des plaquettes, du cholestérol et du fibrinogène, et une augmentation de la viscosité sanguine de 20 % environ. De plus, sous l'effet du froid, l'organisme augmente sa thermogénèse. L'activité cardiaque augmente ainsi que les besoins du cœur en oxygène. La production de chaleur peut dépendre soit de l'augmentation de l'activité musculaire squelettique (frisson thermique ou activité physique volontaire), soit d'un accroissement du métabolisme. Le tissu adipeux brun et certaines hormones participent à l'augmentation du métabolisme énergétique : les hormones thyroïdiennes, les catécholamines (adrénaline), les glucocorticoïdes, le glucagon. Les hormones thyroïdiennes en particulier interviennent plus dans l'acclimatation au froid que dans la réponse de thermorégulation immédiate. On observe également une diminution de la thermolyse et en particulier de la transpiration (INVS, 2003). Des effets néfastes pour la santé apparaissent si le système thermorégulateur est déficient ou si le stress thermique est trop important. En général, les individus sains s'adaptent rapidement à la nouvelle température, ce qui n'empêche pas une augmentation de la morbidité, voire de la mortalité, en relation avec les faibles températures. Les températures basses sont suspectées d'accroître la vulnérabilité des organismes en saison froide. Malgré tout, avant de revenir en détail sur ce facteur thermique, évoquons d'autres pistes telles que la baisse de luminosité hivernale expliquant la diminution de sécrétion de certaines hormones.

1-1-2-1 Le rôle de la lumière

Les cycles saisonniers des maladies infectieuses ont été tour à tour attribués aux changements dans les conditions atmosphériques, à la fréquence et la virulence des pathogènes ou au comportement de l'hôte. Quelques observations sur la saisonnalité sont cependant difficiles à concilier avec ces explications : c'est le cas du déclenchement épidémique simultané aux mêmes latitudes, de la détection de l'agent pathogène hors saison froide qui n'est pas suivi d'une diffusion épidémique et de l'importance du caractère saisonnier malgré de larges différences climatiques à l'échelle d'une latitude donnée et de comportements humains éminemment différents. Quelques auteurs pensent que l'augmentation de la sensibilité de la population hôte est liée au cycle de clarté/obscurité annuel (Dowell 2001). On pense que ces cycles contrôleraient la sécrétion de mélatonine et pourrait expliquer plusieurs

caractéristiques, jusqu'ici non expliquées, de la saisonnalité des maladies infectieuses. Il est désormais largement admis que les changements physiologiques induits par le photopériodisme sont communs chez les mammifères, l'être humain ne déroge pas à la règle. Si de tels changements physiologiques sont à la base de la résistance humaine aux maladies infectieuses tout au long de l'année et que ces changements peuvent être identifiés et modifiés, les implications thérapeutiques et préventives pourraient alors être considérables.

Au-delà des rythmes de sécrétion de mélatonine, d'autres pistes ont été mises en avant pour expliquer l'augmentation de la sensibilité des individus aux cours de la saison froide dans les régions tempérées. Un possible impact de la vitamine D sur le système immunitaire a été récemment avancé (Cannell et al. 2006). En 1981, R. Edgar Hope-Simpson envisageait qu'un stimulus saisonnier intimement associé à la radiation solaire pouvait expliquer la saisonnalité remarquable des épidémies de grippe. La radiation solaire déclenche une nette production saisonnière de vitamine D dans la peau. La déficience en vitamine D est commune en hiver. La vitamine D active une hormone stéroïdienne - 1,25 (OH) 2D – qui produit de nombreux effets sur l'immunité humaine. 1,25 (OH) 2D agit comme un modulateur du système immunitaire en contrôlant le potentiel défensif de certaines cellules. Plus important encore, elle stimule clairement l'expression de peptides antimicrobiens puissants qui existent, entre autres, dans les monocytes, les lymphocytes « natural killer » ou dans des cellules épithéliales ciblant l'appareil respiratoire où ils jouent un rôle majeur dans la protection du poumon face aux infections. Les volontaires auxquels a été inoculé un virus grippal atténué développent plus généralement de la fièvre en hiver, preuve d'une réaction immunitaire particulière à la saison froide. Le déficit en vitamine D prédispose les enfants aux infections respiratoires. Le rayonnement ultraviolet (de sources artificielles ou issu de la lumière du soleil) réduit l'incidence d'infections respiratoires virales (tout comme le fait l'huile de foie de morue autrefois donnée aux enfants en hiver qui contient également de la vitamine D). L'étude de Cannell *et al.* a montré que la vitamine D réduit l'incidence des infections respiratoires chez les enfants. Ils finissent par conclure que la vitamine D, ou précisément le déficit en vitamine D, pourrait être le stimulus saisonnier mis en évidence précédemment dans l'étude d'Hope-Simpson (1981). Ainsi, l'alternance saisonnière de période à plus ou moins forte insolation semble jouer un rôle non-négligeable sur le système immunitaire humain. Cependant, des oscillations saisonnières en partie corrélées avec cette baisse de radiation solaire reçue semblent jouer un rôle plus déterminant sur la sensibilité des individus aux virus : c'est le cas des basses températures. Néanmoins, si les effets cardiovasculaires du froid sont assez bien connus, c'est nettement moins le cas des effets respiratoires. S'il est admis depuis longtemps

que les maladies respiratoires augmentent en hiver, l'étiopathogénie n'est toujours pas complètement élucidée. Deux facteurs semblent expliquer en partie ce phénomène. D'une part, l'inhalation d'air froid entraîne un refroidissement de la muqueuse des voies respiratoires supérieures, ce qui tend à inhiber les mécanismes de lutte contre les infections. D'autre part, la tendance à la concentration de la population dans des espaces confinés et peu ventilés augmente le risque d'infections croisées, point sur lequel nous reviendrons.

1-1-2-2 L'influence du froid sur le système immunitaire

Depuis l'avènement des antibiotiques qui ont fait chuter les épidémies de saisons chaudes, on observe une nette augmentation des hospitalisations et de la mortalité pendant les mois d'hiver : les maladies cardiovasculaires tout comme les infections respiratoires sont responsables dans une grande proportion de cette morbi-mortalité supplémentaire. L'exposition au froid est souvent pressentie comme un facteur aggravant l'incidence et la sévérité des infections de l'appareil respiratoire (Mourtzoukou, Falagas. 2007). Les données disponibles suggèrent que l'exposition au froid augmente le risque de développer des infections de l'appareil respiratoire supérieur et inférieur, voire de mourir de l'une d'elles. De plus, plus la durée d'exposition au froid est longue, plus le risque d'infection est élevé. Bien que le sujet soit controversé, la majorité des expériences en laboratoire tout comme les études cliniques suggèrent que l'inhalation d'air froid, le rafraîchissement de la surface de corps causent un stress froid qui, abaissant la température de corps, induit des réponses physiopathologiques. La vasoconstriction dans la muqueuse de l'appareil respiratoire et la suppression de réactions immunitaires sont alors responsables de la sensibilité accrue aux infections. Nombreux sont les scientifiques proposant la vigilance des autorités de santé publique et l'action pour empêcher l'augmentation de la morbidité et de la mortalité pendant l'hiver en raison des infections respiratoires.

Alors que la vasoconstriction de la muqueuse de l'appareil respiratoire avait déjà été mise en évidence dans le cadre de travaux menés à l'université de Cardiff, une étude (Eccles. 2002) rappelle une croyance largement répandue en énonçant que les infections respiratoires virales aiguës sont le résultat d'un « coup de froid » et que le début d'une infection respiratoire, comme le rhume de cerveau, est souvent associé au rafraîchissement aigu de la surface de corps (d'autant plus efficace avec des vêtements et des cheveux humides). Eccles note cependant que les expériences d'inoculation du virus de rhume de cerveau dans le nez sous des conditions d'exposition froide n'ont pas permis de démontrer un quelconque effet du froid

sur la sensibilité à l'infection aux virus de rhume de cerveau. La communauté scientifique actuelle écarte l'hypothèse d'une relation de cause à effet entre le rafraîchissement aigu de la surface du corps et le rhume de cerveau. Eccles propose alors une hypothèse novatrice : ce rafraîchissement aigu de la surface du corps cause un réflexe de vasoconstriction dans le nez et les voies aériennes supérieures. C'est cette réponse de vasoconstriction qui entrainerait par la suite une inhibition du mécanisme de défense immunitaire. Un an plus tard, Eccles avance une explication de la saisonnalité des infections virales de l'appareil respiratoire. Alors que la plupart des publications dans ce champ reconnaissent un réel manque de connaissances pour expliquer la saisonnalité de certaines infections virales de l'appareil respiratoire, certaines avancent, malgré tout, une explication basée sur un « mélange » accru de personnes susceptibles en hiver. Poursuivant ses travaux antérieurs, Eccles note que l'exposition saisonnière à l'air froid cause une augmentation de l'incidence des infections virales de l'appareil respiratoire en raison du rafraîchissement de la voie aérienne nasale. L'hypothèse veut que l'inhalation d'air froid entraîne un rafraîchissement de l'épithélium nasal. Cette réduction de la température nasale serait suffisante pour inhiber les mécanismes de défenses de l'appareil respiratoire contre les infections comme la *clearance* mucociliaire ou l'activité phagocytaire de leucocytes.

Toutes ces hypothèses sont très certainement recevables, ce n'est pas le lieu ici de les discuter. Elles permettent certainement d'expliquer la recrudescence des cas d'infections de l'appareil respiratoire en hiver, la grippe ne fait pas exception. Hajat et al. (2004) ont mené une étude sur des personnes âgées en Grande Bretagne et ont démontré l'impact réel de conditions thermiques froides sur les consultations de médecins généralistes pour des troubles respiratoires. Une analyse temporelle fine des effets à court terme de la température sur les consultations de médecins généralistes par les personnes âgées (+ 65 ans) relatives à des infections respiratoires a été menée sur une période de 10 ans (1992-2001). Les praticiens participants étaient disséminés dans 16 villes différentes du Grande Bretagne où une station de contrôle météorologique fonctionnait. Une association entre des températures basses et une augmentation pour des infections respiratoires a été notée dans les 16 villes étudiées. La plus nette augmentation a été observée dans la localité de Norwich où une augmentation de 19% des consultations pour infections respiratoires correspond à une baisse de température de 1°C lorsque la température moyenne se situe en-dessous de 5°C dans les vingt derniers jours avant la consultation. Une étude, relativement similaire, menée à Athènes (Nastos, Matzaraki. 2006) tente de mettre en relation des paramètres météorologiques avec la variabilité totale des consultations de médecins généralistes pour des infections respiratoires. Pour ce faire, ont été

utilisées les données relatives aux consultations de médecins généralistes pour des infections respiratoires durant l'année 2002. Cet ensemble de données a été compilé par les organismes de Sécurité Sociale locaux dans le secteur d'Athènes. Les données météorologiques quotidiennes obtenues par la Station Météorologique de l'Observatoire national d'Athènes comprennent : les valeurs moyennes, minimales et maximales de températures ; l'humidité relative ; l'humidité absolue ; l'insolation ; la pression atmosphérique et enfin la vitesse des vents. Les résultats de cette étude contribuent à mettre en évidence une association entre des conditions météorologiques particulières et le nombre de consultations de médecins généralistes pour des infections respiratoires. Plus spécifiquement, l'influence de l'humidité et de la température est une nouvelle fois soulignée. Cependant, cette étude avance que l'influence de la température et de l'humidité sur les consultations le même jour semble plus faible que l'influence de conditions météorologiques observée 2 semaines auparavant démontrant l'existence d'un effet retard (lag effect). Une autre étude menée sur une cohorte d'enfant à Lahore au Pakistan met en évidence un possible impact de facteurs climatiques mais y ajoute des facteurs sociaux faisant varier la susceptibilité des individus face au développement d'une infection respiratoire lors de conditions froides (Erling et al. 1999). Le but de cette étude était d'analyser l'impact du climat sur la prévalence des infections respiratoires dans quatre groupes socio-économiques différents d'un pays en voie de développement. Des observations mensuelles ont été reportées durant 24 mois sur 1476 enfants en bas âge nés entre 1984 et 1987. La prévalence des infections respiratoires a été analysée selon l'âge, le secteur de vie, la taille de la famille, la saison de l'année et des variables climatiques comme la pluie, la température et l'humidité. Les températures minimales mensuelles inférieures en moyenne à la normale ont été associées à de plus hautes prévalence des infections respiratoires. Concernant les infections de l'appareil respiratoire inférieur l'impact des températures était plus grand chez les garçons, dans les grandes familles et chez les pauvres. Ce constat n'a pas pu être établi pour les infections de l'appareil respiratoire supérieur. Les auteurs indiquent enfin que la prévalence des infections respiratoires dans une société en voie de développement est, en partie, liée à la température. Malgré tout, l'effet de la température sur la santé varie entre les personnes de sexe, d'âge, de milieu social différent. Toutes ces études ci-mentionnées doivent cependant être relativisées. En effet notons, pour clore ce paragraphe, que certains travaux avancent que la mortalité liée à la température n'a fait que diminuer au cours du XX^e siècle. Sans remettre en cause l'influence du froid sur les mécanismes biologiques de l'être humain ou sur la conservation des virus dans l'air, une étude menée à Londres (2006) nous conforte dans l'idée que le

problème de la vulnérabilité aux épidémies de grippe va certainement au-delà d'une relation de cause à effet entre le climat et la maladie mais impose la prise en compte de facteurs sociaux indéniablement importants dans la compréhension de ce risque. En utilisant des modèles autorégressifs de Poisson avec un ajustement saisonnier, Carson et al. ont analysé la mortalité hebdomadaire à Londres durant quatre périodes (1900-1910, 1927-1937, 1954-1964 et 1986-1996) afin d'évaluer quantitativement l'évolution des taux de mortalité en fonction de la température au cours du XX^e siècle. Les données de mortalité ont montré une transition épidémiologique au cours du siècle passant d'une haute mortalité infantile à une mortalité infantile basse et une prédominance de la mortalité liée aux maladies chroniques dans les deux dernières périodes. On observe une réduction progressive des morts induits par la température au cours du XX^e siècle, et ce, en dépit d'une population vieillissante. Cette tendance est probablement le reflet des améliorations de facteurs environnementaux mais également, comme le note les auteurs, comportementaux.

Cette idée convient bien à l'analyse du risque grippal. Nous sommes bel et bien confrontés à des situations synoptiques qui pour certains induisent une vulnérabilité des individus, pour d'autres permettent une meilleure transmission/conservation du virus dans l'air. Malgré tout, ce facteur climatique ne doit en aucune manière occulter, si ce n'est les réponses d'une société, au moins le fait qu'un groupe social n'est pas homogène tant structurellement que dans les comportements de ces individus. Il sera ainsi important de noter que certains facteurs, à l'échelle d'un territoire, feront varier spatialement le risque. Enfin, il est fondamental de mentionner que le territoire français n'est pas soumis de manière homogène aux mêmes influences climatiques. En effet, certaines régions connaissent des épisodes froids assez longs et fréquents quand d'autres n'en connaissent que très peu et de courte durée. De fait, une première spatialisation des portions du territoire soumis à ces influences froides « polaires » (maritimes et continentales) doit être réalisée. Elle va permettre de mettre en évidence des secteurs de plus forte vulnérabilité du fait d'un affaiblissement du système immunitaire ou de meilleure transmissibilité du virus du fait des conditions atmosphériques extérieures.

2 - Un territoire inégalement confronté à des situations atmosphériques génératrices de baisses de température

Ainsi, en réalisant un découpage net de la France par secteurs plus ou moins soumis aux vagues de froid, nous pouvons en déduire des régions présentant les plus fortes vulnérabilités liées aux conditions atmosphériques face aux épidémies de grippe. Les conditions atmosphériques jouent sur l'accroissement de la vulnérabilité des individus et de la meilleure conservation/transmission sous ambiance thermique froide. Il serait ainsi opportun de s'intéresser aux raisons expliquant l'apparition du froid en France en gardant à l'esprit l'impact de la baisse de température sur le déclenchement épidémique de la grippe, nous insisterons sur la fréquence, la durée et l'intensité des vagues de froid sur le territoire métropolitain depuis les années 1980. Nous reviendrons ensuite sur le découpage climatique du territoire tel que proposé par Météo-France : ses problèmes d'échelle, ses limites. Enfin, nous intéresserons à certaines exceptions, l'îlot de chaleur urbaine notamment.

2-1 Quelles sont les caractéristiques de la saison froide en France ?

Si l'hiver en Europe est l'une des quatre saisons astronomiques, elle est en France une saison « météorologique » débutant parfois avant la date astronomique. De fait, certains préféreront la nommer saison froide. L'hiver n'existe que dans les pays des latitudes moyennes à hautes. C'est une période durant laquelle l'insolation est plus faible, le rayonnement reçu à la surface du sol plus ténu du fait de l'inclinaison de la terre et les températures plus froides. La saison froide aux latitudes tempérées connaît une succession de types de temps : parfois doux et pluvieux, parfois froids et secs. L'arrivée d'air plus froid en France est le fait de vagues de froid venues du nord ou de l'est du continent. Ce terme hiver comporte deux définitions dans le dictionnaire Larousse : « *saison commençant le 21 ou le 22 décembre et se terminant le 20 ou le 21 mars dans l'hémisphère Nord* » et « *période la plus froide de l'année* ». Ces deux définitions montrent que l'hiver ne peut être défini de la même manière selon que l'on se positionne d'un point de vue astronomique ou climatique. L'hiver météorologique n'est pas contraint par un calendrier fixe : la période hivernale est conditionnée par le temps qu'il fait ainsi elle est variable d'une année sur l'autre. Cette saison se caractérise par des températures plus froides que durant le reste de l'année. Ce critère thermique est fondamental dans la définition de cette saison. L'hiver, en France, est caractérisé par des basses températures minimales. Le mois de janvier est considéré généralement comme le mois le plus froid de

l'année. Météo France précise qu'habituellement, la première décennie de janvier est la plus froide suivie par la deuxième décennie de février. Il peut encore geler en avril si bien que, à titre d'exemple, la mairie de Paris a décidé que l'hiver durait du 15 novembre au 15 avril, tandis que pour la DDE (Direction Départementale de l'Équipement), l'hiver commence le 15 novembre, mais s'achève le 15 mars pour des impératifs de sablage ou de déneigement. Ces dates ne sont le reflet que de besoins (rouler pour un camionneur, semer pour un cultivateur etc.) d'autant que les températures, surtout les minimales, n'ont cessé d'augmenter au cours du XX^e siècle (Fig. n°61).

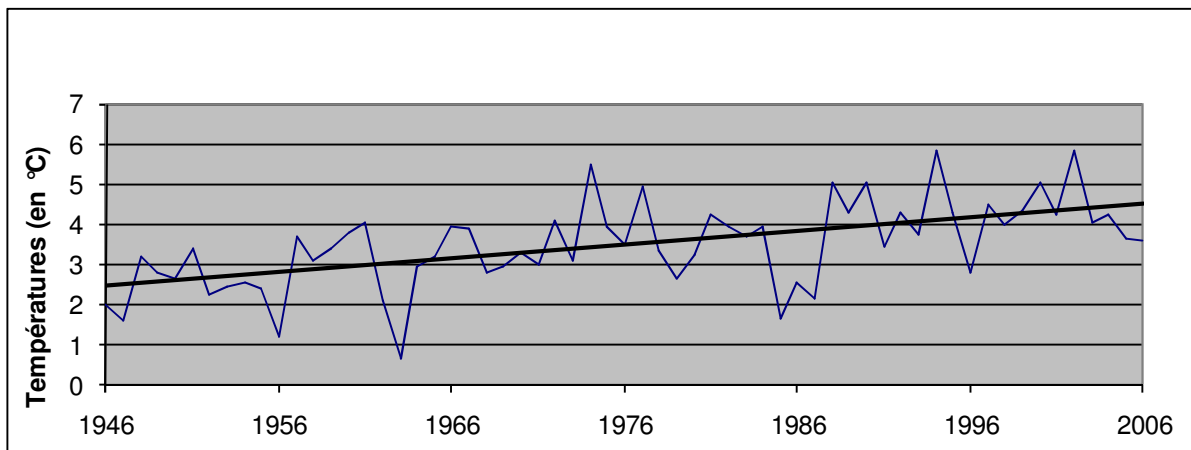


Fig. n°61 : Températures minimales à Paris Montsouris (novembre à mars, 1946-2006)
(source : Météo France)

Si les températures minimales augmentent sensiblement, les jours de gelée sont encore importants même si eux aussi ont tendance à baisser (Fig. n°62). En effet, en moyenne sur la station de Paris-Montsouris, il y a 25 jours de gelée par an (1976-2006), contre 79 à Besançon, au climat tempéré plus continentalisé, mais contre 16 à Brest, au climat tempéré nettement océanique.

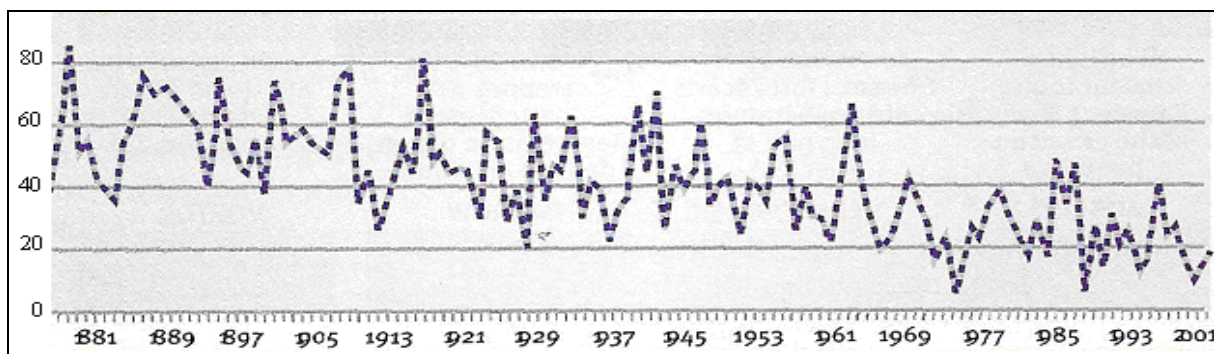


Fig. n°62 : Nombre annuel de jours avec gelée, Paris Montsouris (1875-2001)
(in Vallee 2004)

Ainsi, le territoire métropolitain ne peut être traité comme un tout homogène et lisse. En prenant en compte le critère thermique, semble-t-il de prime importance pour le virus grippal pour toutes les raisons invoquées précédemment, peut-on mettre sur un pied d'égalité la pointe bretonne et le Doubs où le nombre de jours de gelées est près de 6 fois plus important ? Afin de mieux percevoir les températures minimales de saison froide, analysons les températures moyennes réduites au niveau de la mer (Fig. n°63) afin de bien cerner la répartition spatiale des températures au mois de janvier.

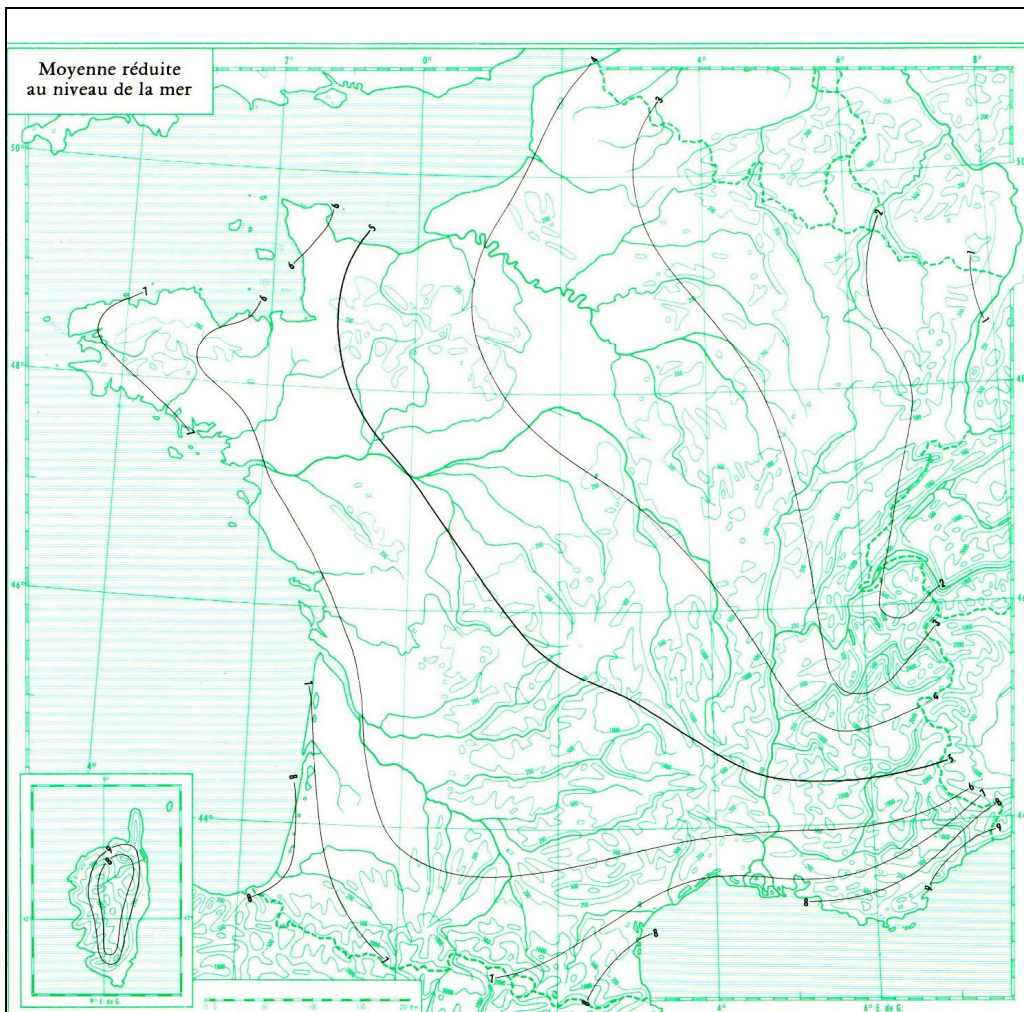


Fig. n°63 : Température moyenne de janvier réduite au niveau de la mer
(D'après l'atlas climatique de Météo France)

Les isothermes représentés sur cette carte vont de 1°C sur l'extrême Nord-est et avancent de 1°C en 1°C jusqu'à 8°C dans l'extrême Sud-ouest et 9°C dans l'extrême sud-est : la ligne foncée représente l'isotherme 5°C. Une double influence semble régir l'orientation des isothermes sur cette carte : un effet océanique (et marin) indéniable et une tendance à la

continentalisation vers l'Est du territoire. Ainsi, l'orientation sur les 2 tiers Nord de la France est plutôt méridienne : l'influence adoucissante de l'océan s'estompe à mesure que l'on progresse à l'intérieur du territoire. Cette disposition « sans surprise » des isothermes met en évidence la continentalisation progressive du climat aboutissant à un abaissement notable de la température. Néanmoins, une réflexion menée à une telle échelle va engendrer quelques approximations dues à des facteurs intervenant à des échelles plus fines. Ainsi, après avoir déterminé le cadre général du froid en France métropolitaine, intéressons nous aux évènements les plus extrêmes : les vagues de froid.

2-2 Les advections d'air froid ou vagues de froid en France métropolitaine

Une vague de froid est définie par Météo France comme une période d'au moins deux jours pendant laquelle les températures minimales sont restées inférieures ou égales à -2°C . On caractérise une vague de froid par sa durée, son intensité et son étendue géographique. Les vagues de froid trouvent leur origine dans la nécessité pour la machine climatique de s'équilibrer et donc de générer des échanges d'énergie sous forme de chaleur entre les basses et les hautes latitudes, régions excédentaires et déficitaires. En Europe, le froid vient du nord, mais s'engouffre généralement sur le territoire français du nord-est pour se diriger vers le sud-ouest en 1 à 4 jours.

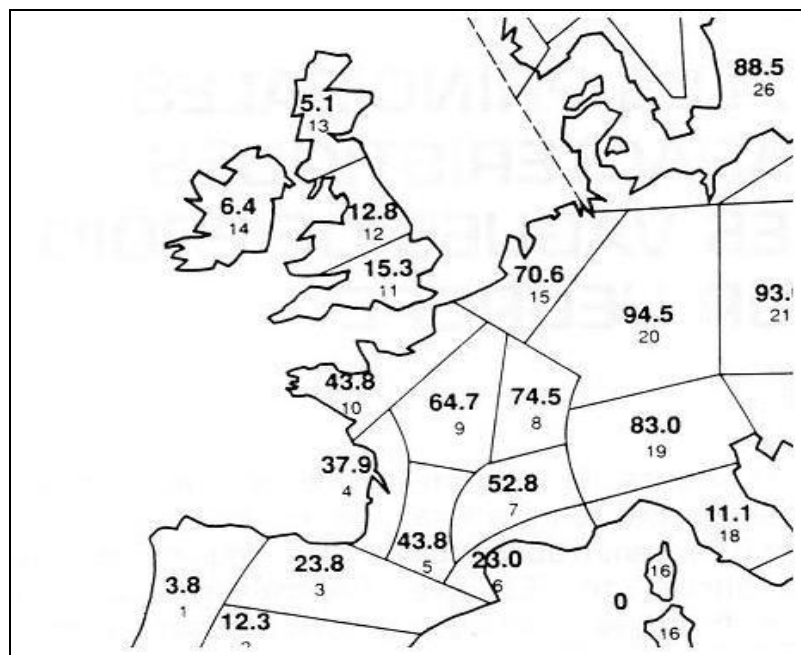


Fig. n°64 : Pourcentage du nombre de jours froids en Europe de l'Ouest (calculés sur les 16 évènements froids les plus significatifs entre 1952 et 1987) (D'après Besleaga 1992)

Notons néanmoins qu'une vague de froid n'atteint pas toujours l'ouest si bien que la fréquence augmente au nord et à l'est. Pour l'Europe (Besleaga 1992) les rapports entre le nombre de jours de froid rencontrés et le nombre total de jours (Fig. n°64 p.202) montrent que les vagues de froid qui descendent en hiver sur la France ont comme réservoir les masses d'air glaciales russes et fennoscandiennes.

Les mers et les montagnes jouent un rôle important dans le déploiement du froid. A titre d'exemple, l'Italie semble sous l'effet protecteur de la barrière alpine tandis que la Méditerranée et l'Atlantique jouent pleinement une influence modératrice. Besleaga considère qu'il existe 3 scénarios-types de vagues de froid, qui selon leur direction et la situation des centres d'action, ne génèrent pas le même type de temps en France métropolitaine. Les types I correspond à un positionnement anormalement haut de l'anticyclone des Açores générant de puissantes descentes d'air arctique sur l'Europe de l'ouest. Le type II coïncide avec la présence d'un puissant anticyclone sur le nord de la Russie canalisant des descentes d'air polaire continental du Nord-est vers le sud et le Sud-ouest. Enfin, le type III est lié au passage d'un front froid associé à une dépression qui se creuse en méditerranée. Quelque soit le type de vague de froid, notons que généralement le Nord et l'Est du territoire sont touchés en premier (Fig. n°65).

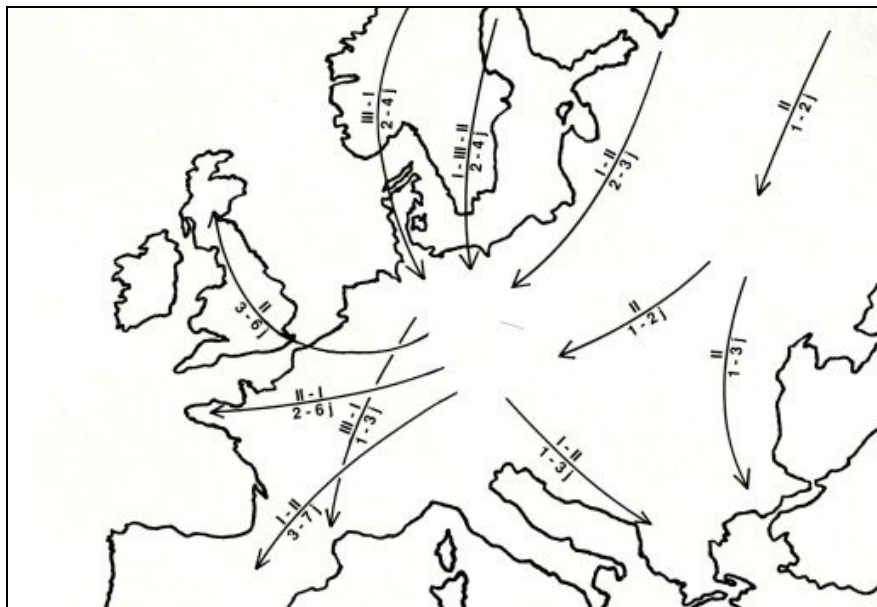


Fig. n°65 : Trajectoire et nombre de jours de progression des vagues de froid par type de circulation (D'après Besleaga 1992)

La pointe bretonne ou le Pays Basque ne sont, pour un évènement donné, touchés parfois qu'une semaine après l'Alsace : la vague de froid y durera d'autant moins longtemps. Rappelons qu'en Europe occidentale, on distingue deux principaux types de temps hivernaux, dépendants de la circulation des flux en altitude : un temps doux et pluvieux et un autre froid et sec. Dans le premier cas, la trajectoire des flux est zonale, la circulation s'établit d'ouest en est, des perturbations se suivent rapidement apportant du vent parfois violent, une relative douceur et des précipitations. L'autre type de temps est celui qui est responsable des vagues de froid.

Après être revenus sur les explications de la présence d'une saison froide en France métropolitaine, sur les trajectoires et la durée des vagues de froids, voyons désormais à une échelle plus fine le découpage climatique en France.

2-3 Le découpage climatique de la France selon Météo-France

L'objectif ici est de s'interroger sur la fréquence et l'intensité des séquences froides dans les régions de France métropolitaine. L'atlas climatique de Météo-France propose une typologie des climats observés sur le territoire métropolitain. Un premier survol de la carte climatique de la France laisse entrevoir un premier problème : si des climats, clairement définis, correspondent à des espaces précis, des secteurs en gris foncé sur la carte (Fig. n°66 p.205) font référence à des climats de transition. Dès lors, quelles caractéristiques assigner à ces secteurs ? Une prédominance du climat antérieur ? Postérieur ? Un subtil mélange des deux ? Finalement ce climat de « transition » présente selon les années le caractère de l'un ou de l'autre des climats adjacents. N'y a-t-il pas moyen de se baser sur un autre découpage ? En analysant succinctement les cartes climatiques disponibles sur internet, force est de constater, qu'en dépit de quelques remaniements spatiaux ou de quelques climats plus ou moins savamment renommés, l'essentiel de la trame de Météo-France est conservé (Fig. n°67 p.206). Notons que, même sur l'atlas climatique, une précision d'importance doit être apportée à la terminologie usitée : le qualificatif « tempéré » n'a pas ou peu été employé. Ainsi, au risque d'une certaine redondance, nous nous bornerons à préciser ici le climat tempéré océanique, là le climat tempéré méditerranéen. Ceci étant dit, quelles sont les principaux points de convergence entre ces cartes aux sources pourtant diverses ?

Remarquons, dès lors, que les types de climat mis en lumière par les deux cartes (en dépit, bien sûr, des noms attribués) sont relativement identiques : les climats tempérés océaniques et océaniques dégradés (ou plus ou moins altérés) se confondent presque. Malgré tout, quelques

différences apparaissent... Regardons d'abord les climats tempérés de montagne. Pour Météo France, tous les massifs, hormis les Vosges, sont placés sous l'influence d'un climat dit de montagne. D'autres auteurs, et c'est le cas dans la seconde carte, préfèrent évoquer un climat de haute-montagne et vont exclure, de fait, le massif central qui dès lors sera classé comme sous l'influence d'un climat tempéré semi-continental ou semi-continental dégradé. Notons également que les espaces grisés de transition de Météo France peuvent correspondre sur la seconde carte au couloir Saône-Rhône voire au Nord de l'Auvergne.

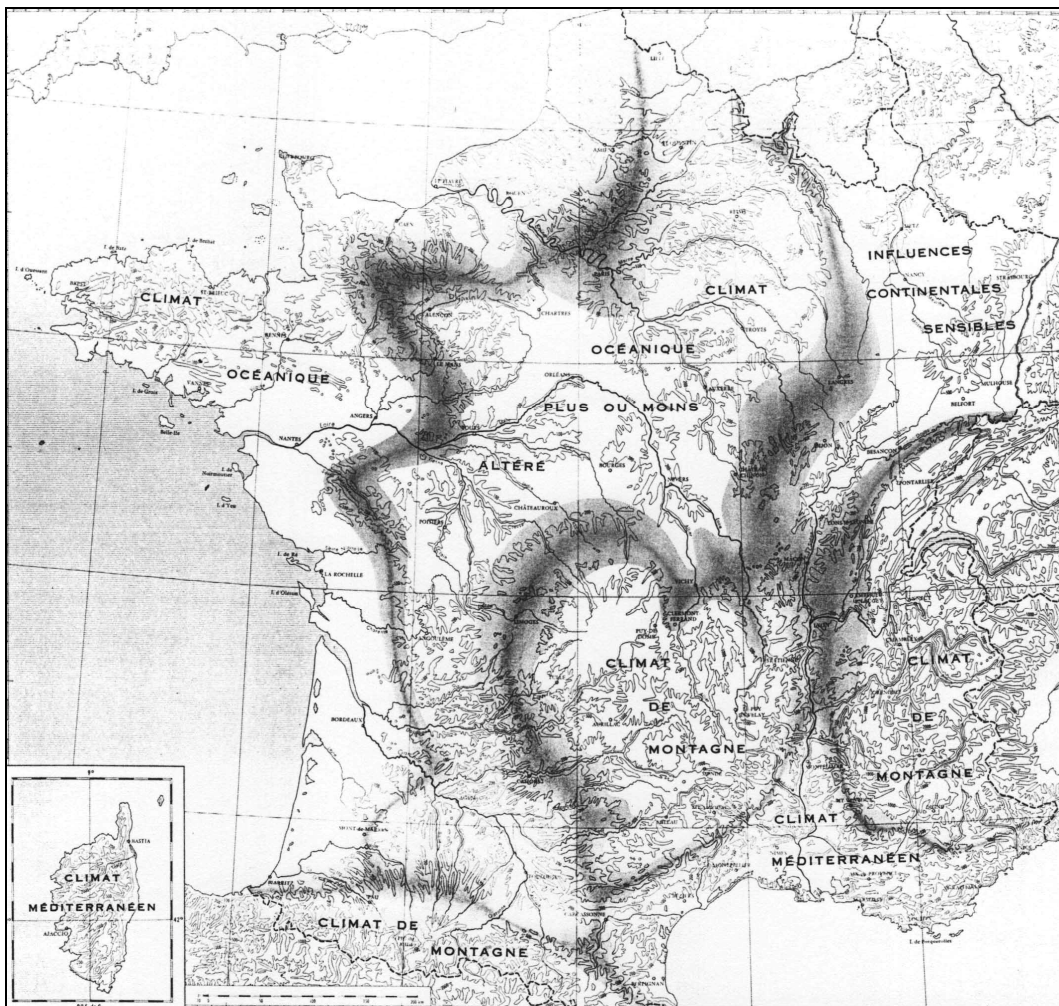


Fig. n°66 : Le découpage climatique de la France d'après l'atlas climatique de Météo France

Le climat tempéré méditerranéen occupe un secteur relativement similaire à ceci près que la seconde carte envisage un climat méditerranéen dégradé. La différence majeure entre les deux cartes intervient en étudiant le climat tempéré à influence continentale sensible (cf. Météo France). Appelé climat semi-continental sur la plaine rhénane, le couloir Saône-Rhône et depuis les sources de la Loire et de l'Allier jusqu'à la confluence ; et climat semi-continental

ailleurs : cette nuance continentale semble intéresser beaucoup plus d'espace. Finalement, c'est la classification continentale du Massif Central qui va donner cette impression biaisée. Quelques secteurs vont être placés également sous influence continentale : c'est le cas du pourtour de l'arc alpin. Il ne s'agit finalement que de mettre un nom sur la partie de transition grisée dans l'atlas climatique de Météo-France. Dans l'optique de mettre en avant des secteurs plus froids ou plus ou moins soumis à des vagues de froids, nous sommes confrontés à un double problème : l'absence d'un consensus dans la terminologie à employer ce qui nous intéresse peu ici (même si, évidemment la terminologie employée par Météo France prévaut) mais surtout l'absence d'un découpage net et la présence de secteurs de transitions qu'il faudra bien qualifier puis superposer ultérieurement à des variables autres que climatiques. Rappelons, malgré tout, les différentes caractéristiques des types de climats tempérés en France à la lumière des définitions proposées par la météorologie nationale.

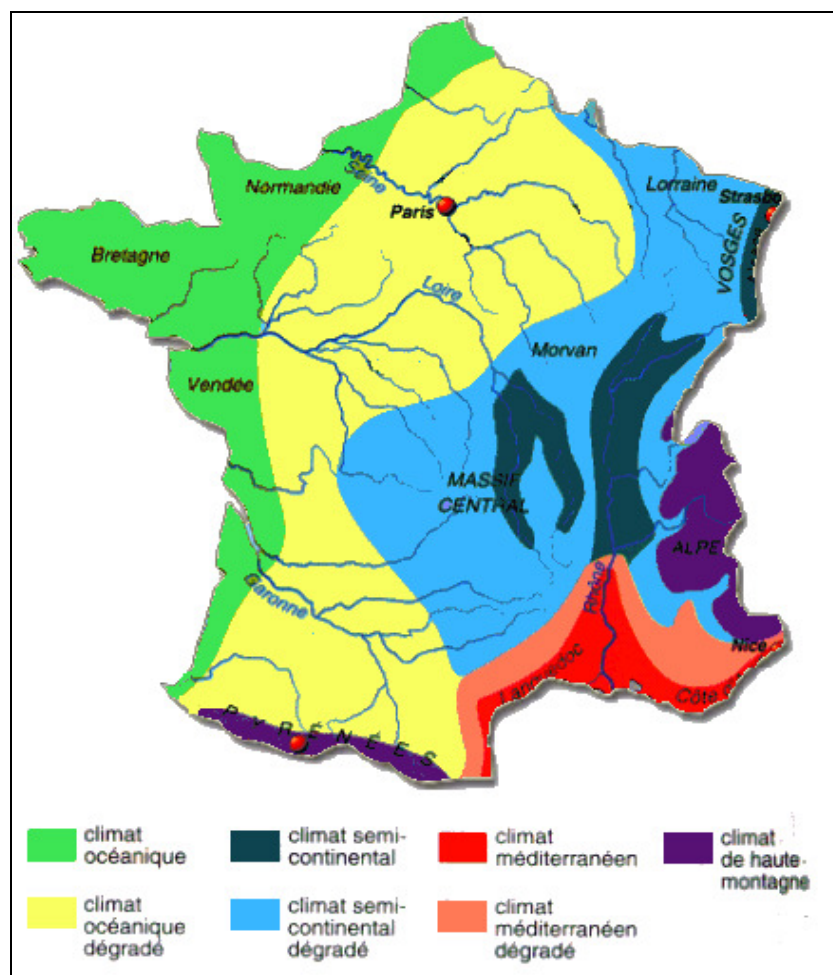


Fig. n°67 : Le découpage climatique de la France d'après un site internet non-institutionnel de climatologie (<http://www.meteorologic.net>)

- Le climat tempéré méditerranéen

Ce type de climat est clairement délimité. Comme son nom l'indique, il va concerner essentiellement le pourtour méditerranéen, limité successivement d'est en ouest par les pentes méridionales des Alpes, les Cévennes, les causses du Larzac, la montagne Noire puis les contreforts orientaux de la chaîne pyrénéenne. La sécheresse estivale et une insolation remarquable sont les traits les plus marquants du climat méditerranéen. Les températures y sont, en moyenne, élevées en été (22°C à 24°C en juillet et en août) et plutôt douces en hiver (de 7°C à 9°C en janvier). Ceci n'exclut, en aucune manière, de puissants coups de froid hivernaux : cette sensation de froid est d'ailleurs accentuée lorsque soufflent le mistral dans le couloir rhodanien ou la tramontane dans le Roussillon. La neige reste, malgré tout, un phénomène rare d'autant plus dangereux que les inhabituels épisodes neigeux revêtent souvent un caractère exceptionnel de par leur intensité. Les cumuls de pluies peuvent atteindre 800 mm/an, un peu moins sur les plaines côtières non bordées de massifs bloquant les nuages gorgés d'eau ou responsables de convections aboutissant au développement d'orages. Les principaux apports pluviométriques proviennent des violentes averses orageuses d'automne. Les apports hivernaux et printaniers proviennent eux tantôt des dépressions océaniques, tantôt des régimes perturbés de Sud-est. Les vents, glaçant en hiver, deviennent desséchants en été et contribuent à accentuer la sécheresse estivale.

Résumé des caractéristiques hivernales (exemple de la station de Marseille) : températures généralement douces (7°C à 9°C en moyenne), 25 jours de gel en moyenne, 3 mois aux températures moyennes inférieures à 10°C et une pluviométrie autour de 45 mm durant les mois de saison froide.

- Le climat tempéré océanique

La majeure partie du territoire français subit un climat aux influences océaniques plus ou moins dégradées, par l'éloignement de la mer ou les reliefs, lorsque l'on avance à l'intérieur des terres ou certaines nuances continentales peuvent prendre le pas. Météo France note que les traits les plus marqués du climat tempéré océanique s'observent en Bretagne et dans les parties basses de la Normandie. Les pluies, non négligeables toute l'année, connaissent néanmoins un maximum hivernal en liaison avec le ballet des perturbations soutenu par tous les flux à composante Ouest. La douceur de la température caractérise également ce climat. En effet, si les étés sont bien plus frais qu'au bord de la méditerranée, les hivers y sont parfois aussi doux. La température moyenne de janvier est de l'ordre de 6°C à Brest pour atteindre

une moyenne de 17°C en juillet. Le nombre de jour de gelée est très variable d'une année sur l'autre et dépend, entre autre, de la distance à l'océan. Les climatologues de Météo France notent néanmoins que, contre toute attente, le climat océanique ne s'améliore pas dans le Sud-ouest de la France par sa position plus méridionale. En effet, le relief pyrénéen provoque, par ascendance, le renforcement de perturbations de Nord-ouest. De fait, si les précipitations sont moins fréquentes, elles y sont plus abondantes. Tout ceci prévaut pour le climat tempéré océanique dans sa plus pure expression. Toutefois, la météorologie nationale préfère esquisser une nuance en distinguant un climat tempéré océanique dégradé. Celui-ci va intéresser un tiers du territoire français, comprenant : Quercy, Périgord, Val de Loire, Bassin Parisien, Champagne, Nivernais et Berry. L'éloignement de l'océan, les premiers contreforts montagneux et l'apparition de quelques influences continentales vont contribuer à accentuer les écarts annuels de température. Le nombre de jours de gel va également en augmentant. Les précipitations y sont moindres : le maximum de fin d'automne du Bassin Parisien se décale à l'été plus à l'Est du fait des averses orageuses estivales plus nombreuses. Encore plus à l'Est vont apparaître des nuances continentales.

Résumé des caractéristiques hivernales (exemple de la station de Nantes) : températures moyennes douces de 6°C à 10°C, 32 jours de gel en moyenne, 5 mois aux températures moyennes inférieures à 10°C et une pluviométrie autour de 75 mm par mois au cours de la saison froide.

- Le climat tempéré à tendances continentales

Ces influences continentales ne vont s'affirmer nettement dans la partie Nord Est de la France. Si elles sont encore perceptibles dans l'Argonne, les reliefs bourguignons, l'Est de la Champagne et certaines dépressions Alpine et du Massif Central (ce que pouvait suggérer la Fig. n°67 p.206), elles ne sont font pleinement que dans les Ardennes, l'Alsace et la Lorraine. Les pluies d'été y sont prédominantes. Le caractère orageux de celles-ci provient notamment de l'inégal échauffement du sol favorisant les phénomènes convectifs. Les hivers sont plus secs et plus rudes (éloignement de l'océan oblige) : les chutes de neige ne sont pas exceptionnelles. Les climatologues de Météo France notent enfin que la brièveté des saisons intermédiaires rend les transitions plus brutales et les contrastes thermiques plus sensibles.

Résumé des caractéristiques hivernales (exemple de la station de Strasbourg) : les hivers sont nettement plus froids avec des températures moyennes comprises entre 0°C et 5°C de novembre à mars, 80 jours de gel en moyenne, 7 mois aux températures

moyennes inférieures à 10°C et une pluviométrie comprise entre 30 et 50 mm en fonction du mois de la saison froide.

- Les climats de montagne

Qu'il s'agisse de n'importe quel massif montagneux français (Vosges, Jura, Alpes, Massif Central, Pyrénées et montagne Corse), quelques grandes constantes prévalent. On observe (du fait de la détente adiabatique) un gradient thermique altitudinal : la température moyenne diminue régulièrement avec l'altitude : nous y reviendrons après. De même, on observe une augmentation régulière (jusqu'à 2000m d'altitude environ) de la pluviosité. La fraction des précipitations tombant sous forme de neige va également varier avec l'altitude. Néanmoins la proximité de la mer, des différences d'exposition, d'orientation, de latitude vont contribuer à engendrer mille nuances de climats locaux. Généralement, dans une dépression, les variations thermiques sont importantes au cours de l'année voire au cours d'une même journée. Notons enfin que les vents locaux (brises de vallée et de montagnes) revêtent souvent plus d'importance que les vents liés à la circulation atmosphérique.

Résumé des caractéristiques hivernales (exemple de la station de Briançon - 1324 m) : les hivers sont froids avec des températures comprises entre -0,7°C et 3,5°C d'octobre à mars, 145 jours de gel en moyenne, 7 mois présentant une température moyenne inférieure à 10°C et une pluviométrie comprise entre 50 et 90mm d'octobre à mars.

Ainsi, il nous a été permis de présenter les différentes nuances de climats tempérés affectant la France métropolitaine. Cette présentation, tout comme la spatialisation réalisée par Météo France, ne permet néanmoins pas de réaliser un découpage précis des régions plus ou moins froides, plus ou moins soumises à des vagues de froid.

Deux phénomènes rentreront en ligne de compte dans l'explication des températures : le froid accru en montagne expliqué par le gradient thermique altitudinal et la relative douceur des grandes aires urbaines.

- Le gradient thermique altitudinal

Le gradient thermique altitudinal correspond à la variation de la température de l'air avec l'altitude. Elle ne dépend que de la pression atmosphérique. Dans la troposphère, on peut considérer l'air comme un gaz parfait : la pression est relativement stable et les molécules

n'ont pas d'interaction autre que des chocs entre elles. Ainsi, si une masse d'air n'échange pas de chaleur avec son environnement (conditions dites adiabatiques), sa température ne dépend que de sa pression : lorsque l'air se comprime, il s'échauffe, et lorsqu'il se détend, il refroidit. Ainsi, si une masse d'air s'élève, elle se refroidit par détente adiabatique (la pression de l'air diminue), et si elle descend, elle se réchauffe par compression adiabatique (la pression de l'air augmente). Cette variation de température avec l'altitude permet de définir le gradient thermique adiabatique. Dans le sens vertical, le gradient de température s'exprime en °C pour une dénivellation de 100 m. Le gradient moyen pour le globe est d'environ 0,6°C pour 100 m. A l'échelle de la France, l'observation conjointe de la carte des températures moyennes de janvier réduites au niveau de la mer (Fig. n°63 p.201) et de la carte des températures minimales réelles de janvier (Fig. n° 68) est sans équivoque. Le net gradient d'océanité de la première s'estompe très rapidement sur la seconde. L'influence du relief devient logiquement prépondérante dans l'orientation des isothermes. Les contours des différents massifs montagneux sont clairement mis en évidence par les isothermes.

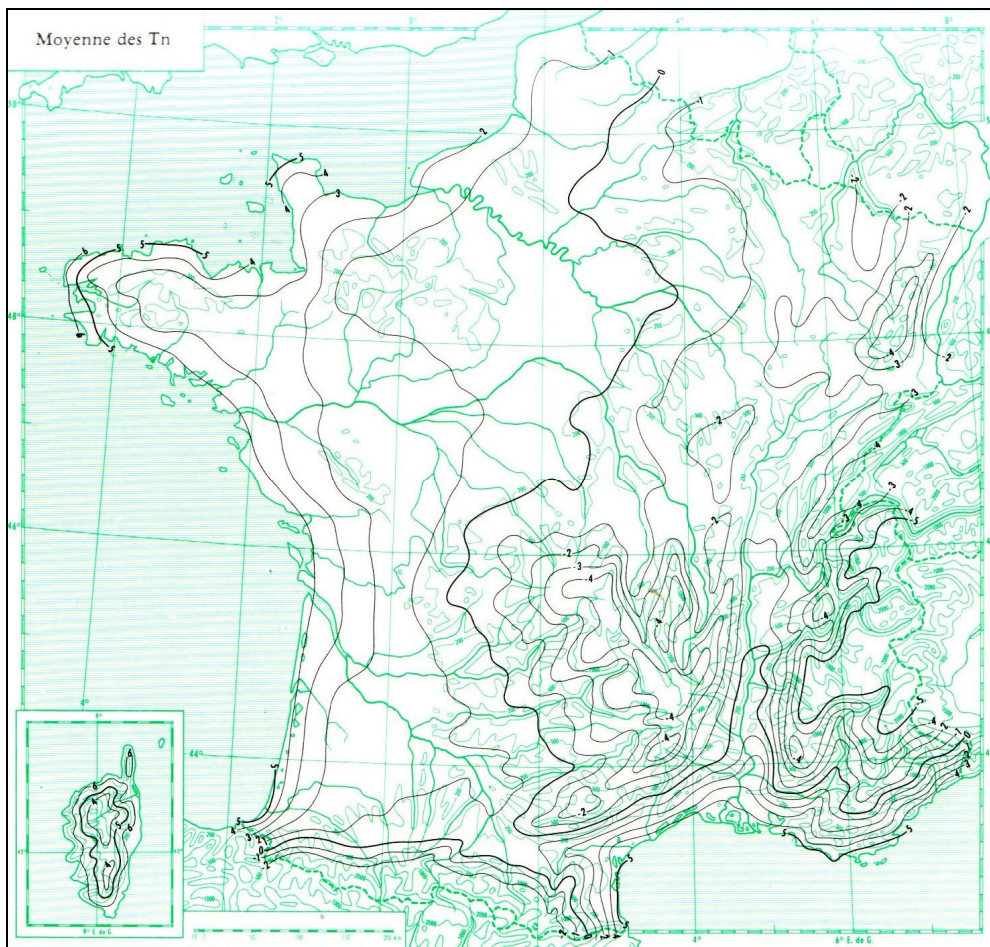


Fig. n°68 : Les températures minimales réelles de janvier
(D'après l'atlas climatique de Météo France, 1986)

Ainsi, se baser sur les températures réduites au niveau de la mer serait une erreur. Malgré tout, nous devons composer avec certaines approximations dues, une nouvelle fois, à l'échelle d'analyse. A titre d'exemple, en s'intéressant à la région Rhône-Alpes sur la figure n°, nous observons une température minimale moyenne comprise entre 0°C et -1°C à Lyon alors qu'on relève en moyenne à Annecy entre -3°C et -4°C soit une différence de près de 3°C. Ces températures induisent très certainement des réponses physiologiques différentes. Nous souhaitons simplement pouvoir établir des comparaisons entre les régions. L'obtention de données sanitaires infra-régionales nous permettrait peut-être de prendre en compte ses différences. Finalement, après avoir localisé les secteurs plus ou moins soumis au froid en règle générale, rappelons que nous avons mis en évidence l'influence de la baisse de la température sur le déclenchement épidémique. Mettons dès lors en lumière les mécanismes générateurs des vagues de froid sur le territoire métropolitain.

▪ L'îlot de chaleur urbain

La température des zones urbaines et péri-urbaines est supérieure à celle des zones rurales environnantes. Cette différence peut atteindre une amplitude de 10°C selon les types de temps. Elle est particulièrement marquée en hiver et la nuit. Ce phénomène, connu des chercheurs du climat depuis le XIX^e siècle, est baptisé "îlot de chaleur urbain" (Oke 1976, 1982).

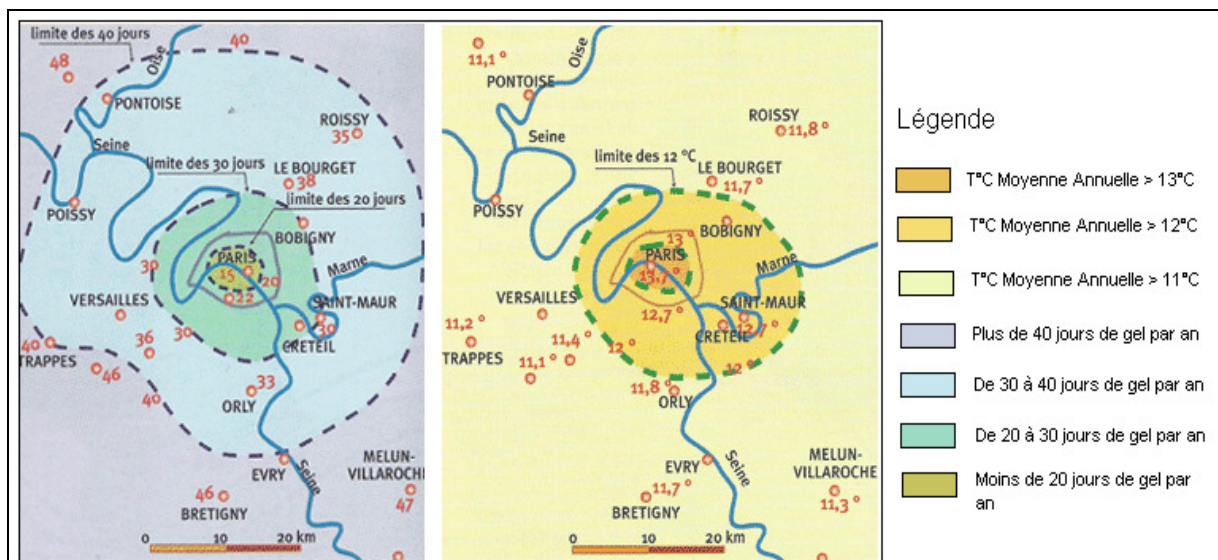


Fig. n°69 : Nombre de jours de gelées par an et températures moyennes annuelles de principales stations d'Îles de France (modifié de Vallee 2004)

Il désigne le fait que la modification des sols et les activités humaines réchauffent artificiellement la température d'une ville et de ses alentours. Les matériaux employés (brique, pierre, goudron, ciment) conservent la chaleur reçue du soleil. Les activités génératrices de chaleur (centrales, usines, chauffage, transport) sont évidemment plus importantes en ville que dans les campagnes, et varient en fonction de la taille de la population. L'effet albédo se trouve modifié par l'occupation nouvelle des sols, de même que les émissions d'aérosols, la diminution des espaces verts et la rareté des plans d'eau modifient l'équilibre thermique et pluviométrique. Enfin, les villes créent de véritables micro-climats en altérant verticalement la composition de leur atmosphère, sur une hauteur qui peut atteindre 500 m lorsque le ciel est couvert. Si les îlots de chaleur urbains sont en moyenne 1,5 à 2,5 °C plus chaud que les campagnes environnantes, il arrive que le différentiel de température atteigne 8 à 10 °C pour les très grandes agglomérations et dans certaines conditions (nuit hivernale peu venteuse par exemple). Prenons le cas de la région francilienne. L'exemple avancé dans la fig. n°69 p.212 donne une température moyenne annuelle de 13,7°C à Paris contre 11,3°C à Melun soit un différentiel de 2,4°C en un peu moins de 40 kilomètres.

L'échelle préférentielle d'analyse choisie dans le cadre de ce travail correspond à la région. Il est ainsi nécessaire d'évoquer le fait que les conditions météorologiques varient assez nettement sur des distances somme toute limitées. L'évocation de basses températures voire de vagues de froid à l'échelle d'une région n'a pas le même sens pour tous les habitants d'une région à un moment donné. Les effets physiologiques d'une vague de froid donnée seront en théorie (modulo une plus grande adaptation des individus) plus important à l'extérieur des agglomérations. Si nous pouvons difficilement nous extraire de ce biais, nous nous devons de le mentionner. De la même manière, l'altitude fait varier les conditions thermiques sur de très courtes distances.

En extrapolant, nous pourrions considérer que ces régions les « plus touchées » par les vagues de froid sont celles qui présenteraient des conditions climatiques optimales pour l'affaiblissement de l'organisme, la conservation ou la transmission du virus grippal. Notons, malgré tout, que si la faible température est de prime importance pour les chercheurs biomédicaux, ce travail accorde une importance au moins équivalente à la baisse de température à proprement parler. S'il est vrai que, statistiquement parlant, le Nord et l'Est sont plus touchés par des vagues de froid, le Nord-ouest connaît également (et nous en avons déjà évoqués les mécanismes atmosphériques) des baisses de températures dont ses habitants connaissent la primeur lors de flux zonaux de Nord-ouest. Ainsi, lorsqu'il s'agira de réaliser

une cartographie des régions présentant les conditions climatiques optimales pour le démarrage épidémique, il ne saurait être permis d'écarter les régions du Nord-ouest de la famille des territoires à risque. En conclusion, il nous est permis d'envisager un impact certain des conditions thermiques extérieures. Malgré tout, certaines études ont avancé l'idée selon laquelle les facteurs comportementaux hivernaux tels que la tendance au confinement expliqueraient pour une large part les facilités de diffusion du virus grippal en saison froide. La simple analyse d'une carte représentant l'incidence grippale calculée sur les deux premières semaines d'épidémie (Fig. n°70) est, de ce point de vue, très parlante.

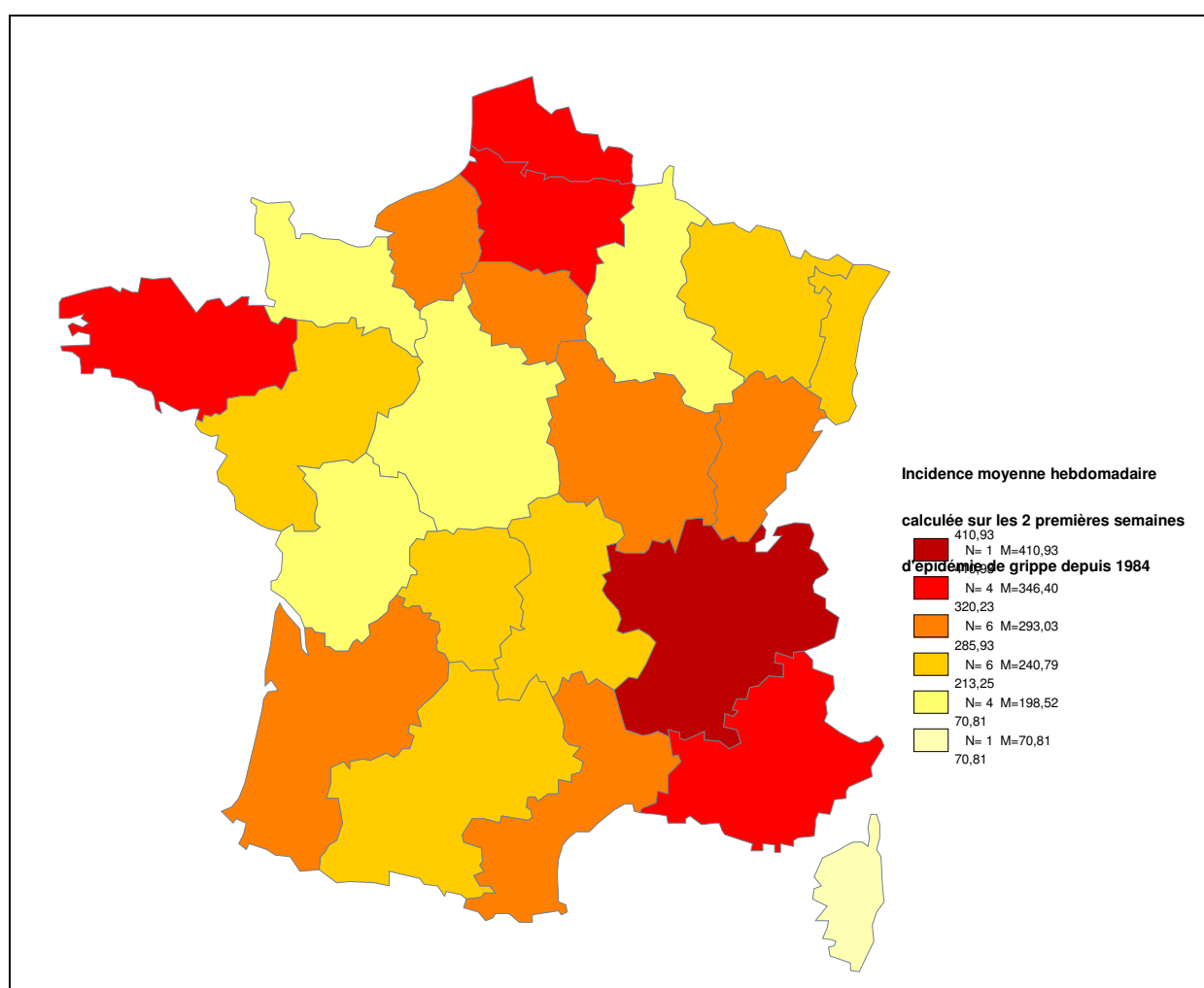


Fig. n°70 : Moyenne des incidences sur les deux premières semaines de l'épidémie
(Toutes années confondues)

En effet, en se basant sur les hypothèses précédemment énoncées, il aurait été logique de penser que les régions les plus froides ou les plus fréquemment soumises aux vagues de froid seraient les régions plus intensément touchées en début d'épidémie. Ainsi, si les régions Nord-Pas-de-Calais, Picardie et Rhône Alpes (et dans une moindre mesure la Bretagne en considérant les baisses de températures par flux de Nord-ouest) répondent à ce schéma, il devient difficile d'expliquer les fortes incidences calculées en PACA ou les faibles en Champagne-Ardenne. La présentation de cette carte ne fait que renforcer l'idée selon laquelle d'autres variables, traduisant une vulnérabilité moins biologique mais plus « sociale », possédant une forte composante territoriale, jouent tout autant sur le niveau de risque grippal.

Conclusion partielle

De nombreuses études ont mis en avant l'impact de facteurs climato-météorologiques dans le cadre de la survie du virus dans l'air ou dans l'augmentation de la vulnérabilité des individus. Globalement, on peut considérer que des conditions froides et sèches permettent une meilleure survie du virus dans l'air. Dans le même temps, le froid génère une bronchoconstriction permettant une meilleure pénétration du virus dans les organismes vivants. Ce n'est donc plus un hasard si le déclenchement épidémique correspond à des vagues de froid par type de temps anticyclonique. Les advections de masses d'air froides continentales affaiblissent les organismes et donnent au virus de meilleures conditions de survie.

Malgré tout, la France, dont les multiples facettes climatiques ont été exposées, n'est pas soumise dans son ensemble à la même récurrence d'épisodes froids. Les régions du nord et de l'est sont plus exposées à ces descentes froides. Ainsi, en reprenant les conclusions de Besleaga (1992) relatifs aux pourcentages de jours froids, nous pourrions entrevoir avec une certaine approximation un découpage régional du risque « coup de froid » et, de fait, envisager les régions offrant en saison froide une meilleure stimulation de l'aléa viral tout comme une augmentation de la vulnérabilité biologique. Une carte est alors proposée (Fig. n°71 p.215). En reprenant les données des 16 événements froids les plus significatifs en Europe entre 1952 et 1987, Besleaga propose un découpage de l'Europe par secteurs plus ou moins soumis à des conditions froides. Nous zoomons alors sur les données françaises et réalisons ce découpage régional en reprenant les mêmes pourcentages. Plus tard, nous

réaliserons vraisemblablement un codage simplifiant ces pourcentages pour les associés à des valeurs de vulnérabilités régionales autres.

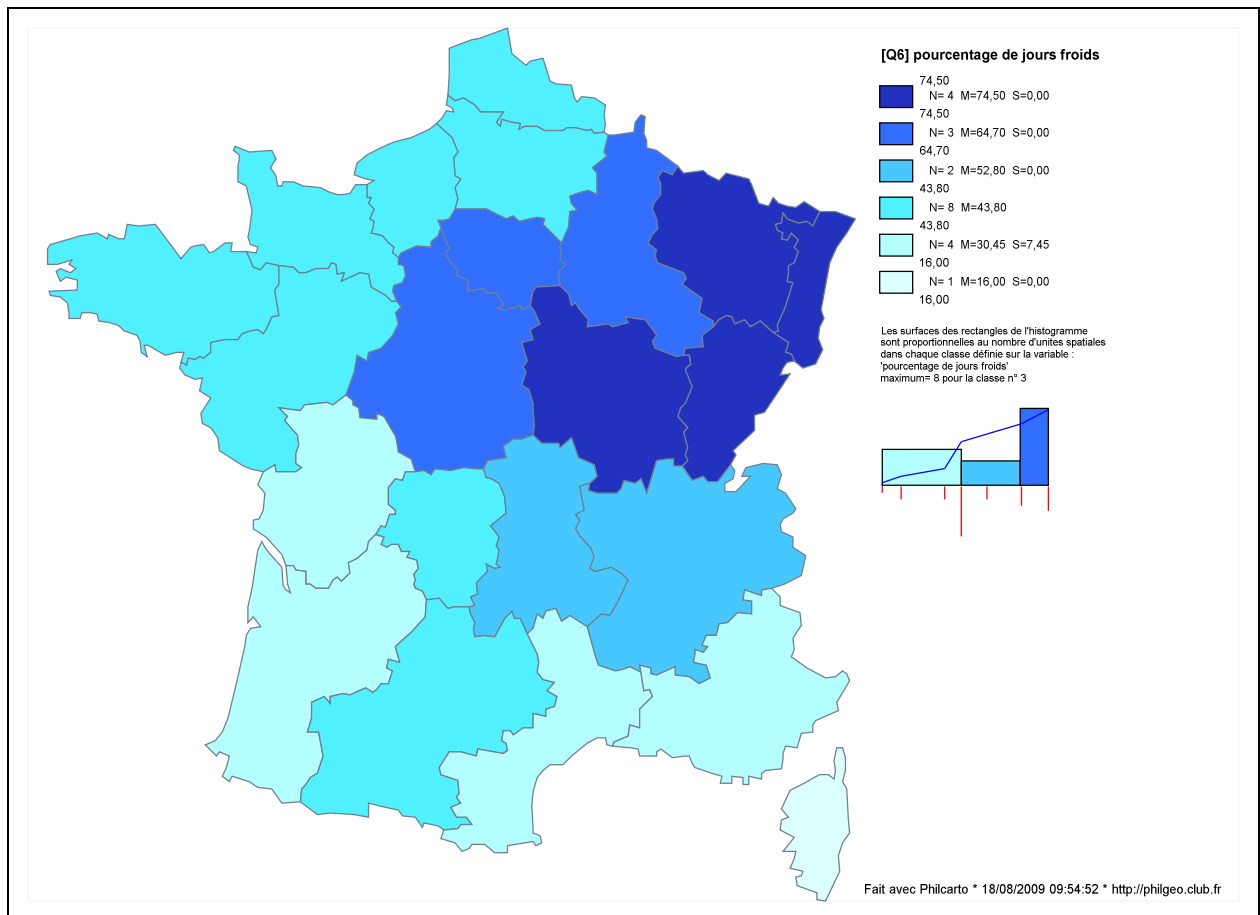


Fig. n°71 : Le pourcentage de jours froids par régions (d'après Besleaga 1992)

Cette carte met en avant un gradient de continentalité où les régions de l'est sont les plus soumises aux vagues de froid. Il s'agirait ainsi vraisemblablement des régions qui offrent les meilleures conditions de survie pour le virus et où les organismes sont les plus exposés à des conditions augmentant leur vulnérabilité.

Conclusion de partie

Lier le climat aux phénomènes de santé n'est pas chose nouvelle. Comme évoqué dans la première partie, ces préoccupations pourraient remonter à l'antiquité. De la même manière, parler d'un lien entre le froid et la grippe pourrait sembler d'une affligeante banalité si l'on en restait à un niveau de lecture factuel sans volonté d'analyse. La grippe se propage dans nos contrées en hiver or en hiver, chez nous, il fait froid donc le froid apporte la grippe... Devons-nous cependant nous arrêter là ? Il est évident que non. Un lien de causalité entre le froid et la grippe semble donc évident mais, à y regarder de plus près, la relation n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît. Il n'existe pas de corrélations significatives entre l'intensité du froid hivernal et la taille des épidémies, la durée ou l'intensité du pic. En extrapolant quelque peu, nous pourrions presque remettre en doute cette relation froid/grippe en se disant simplement que ces deux phénomènes (baisse des températures saisonnières et augmentation du nombre de cas de grippe) sont deux événements distincts.

Néanmoins, et nous avons détaillé ce point, des équipes de virologues ont mis en évidence des conditions optimales de survie du virus : humidité relative faible et froid. Ce sont précisément les conditions observées lors des vagues de froid par type de temps anticyclonique : un froid sec. *De facto*, lors de ces épisodes climatiques normaux en hiver, le virus présent trouve un « terreau » très fertile pour survivre plus longtemps et infecter plus de population. Si l'on considère dans le même temps que le froid rend les gens plus vulnérables aux infections respiratoires, on peut imaginer que ces vagues de froid représentent alors des périodes à risque pour le déclenchement épidémique. C'est précisément sur la base de cette hypothèse que cette partie fut construite. Après avoir redéfini le déclenchement épidémique, pour mieux coller à la réalité climatique, nous avons analysé point par point l'ensemble des facteurs climato-météorologiques extraits des bulletins de la météorologie nationale. L'analyse des températures montra notamment une baisse des températures systématique en période pré-épidémique. Si l'hiver aux moyennes latitudes tempérées est caractérisé par des températures plus froides, des fluctuations de ces températures sont, malgré tout, possibles et il n'était pas évident qu'une baisse se produise de manière récurrente dans une fenêtre temporelle restreinte avant le déclenchement épidémique : c'est pourtant le cas. En outre, une analyse des types de temps générateurs de ces baisses fut conduite afin de mettre en relation le déclenchement épidémique avec certaines configurations météorologiques. Celle-ci démontra l'importance des flux méridiens dans la génération de ces baisses elles-mêmes liées au déclenchement

épidémique des gripes saisonnières en France. Une observation fut également menée de l'autre côté de la méditerranée et apporterait des résultats sensiblement équivalents mais mériterait néanmoins d'être approfondie.

Cette observation tunisienne ouvrit également un questionnement relatif à l'importance des facteurs socio-éco-démographiques dans la thématique de l'exposition au risque grippal ou dans celle de la diffusion du virus. Cette hypothèse d'une vulnérabilité différentielle des populations, pierre angulaire de cette thèse, sera l'objet de la partie suivante où l'importance du climat certes démontrée sera relativisée et où celui-ci sera considéré comme condition nécessaire mais non suffisante. L'évaluation de facteurs de vulnérabilité, leur discussion, leur spatialisation puis leur intégration au sein d'un modèle explicatif sera l'objet des travaux qui suivront.

3^{ème} Partie

Introduction

L'idée selon laquelle la santé est déterminée par un certain nombre de critères sociaux n'est en aucune manière nouvelle. On envisagea dès le milieu du XX^e siècle que certains facteurs comportementaux liés (ou non) à des pratiques sociales entraînaient une hausse de la probabilité de contracter telle ou telle maladie. Les populations humaines sont très différentes sur le plan de la santé et de la maladie : ces différences ne résultent pas seulement de celles qui existent entre les individus. Certains regroupements permettent de faire disparaître les différences individuelles, mais il existe toujours des différences entre les « sous-groupes » d'une même population (Evans et al. 1996). Ces différences qui concernent l'espérance de vie, les taux d'accident voire l'incidence ou la prévalence de certaines maladies peuvent être corrélées avec des caractéristiques discriminantes de ces « sous-groupes ». A titre d'exemple Evans (1996) note que l'on a constaté à maintes reprises, au cours du XX^e siècle, l'existence d'importants écarts d'espérance de vie selon les niveaux de revenus ou d'instruction. Le terme d'hétérogénéité est généralement employé pour rendre compte de ces différences significatives de l'état de santé des populations. De nombreux travaux mentionnent l'importance du milieu social sur la maladie. Ainsi, une étude longitudinale concernant tous les enfants nés en 1955 sur l'île de Kauai (Hawaï) a révélé que les problèmes de développement du nourrisson associés à une détresse périnatale grave étaient compensés ultérieurement chez les enfants qui appartenaient à un milieu socio-économique favorisé ou à une famille stable alors que ce n'était pas le cas pour ceux qui vivaient dans un milieu socio-économique défavorisé ou dans une famille instable (Werner, Smith. 1982). Ce type d'exemple va clairement à l'encontre de l'idée selon laquelle il est possible d'expliquer entièrement la santé d'une population à travers les caractéristiques biologiques ou psychologiques (parfois modifiées par le milieu) des individus. Il est désormais évident que la santé d'un individu ne se résume pas à son simple patrimoine génétique mais que son milieu de vie, son emploi etc. jouent indéniablement sur l'exposition aux agents pathogènes si l'on s'intéresse plus particulièrement à la maladie infectieuse. Le milieu social renvoie également à des pratiques « à risque » plus fréquentes et augmente, de fait, l'incidence de certaines maladies chroniques également. Nous avons à l'idée les différents atlas de la santé réalisés par

l'équipe de G. Salem (2000, 2002) où les causes de décès relèvent souvent de pratiques sociales augmentant la vulnérabilité.

Le principe de précaution, inscrit dans la loi, s'applique à la politique de santé publique. Le principe de précaution n'implique pas le risque zéro (Beck, 2003, 2006 ; Guilhou et Lagadec, 2002) mais autorise tout citoyen à rendre responsable un dépositaire du pouvoir public de ne pas avoir tout mis en œuvre pour secourir la population en cas de crise. En France, l'article 12 de la loi du 22 juillet 1987 (loi n° 87.565) instaure que "*le citoyen a le droit à l'information sur les risques qu'il encourt en certains points du territoire et sur les mesures de sauvegarde pour s'en protéger*". Son but est de sensibiliser la population aux risques existants, de l'informer des mesures à prendre et de la conduite à tenir en cas d'accident (Tabeaud, 2007). Les risques sanitaires ne dérogent, *de facto*, pas à cette règle. Par ailleurs, la loi de Sécurité sanitaire de 1998 a mis en place des outils de surveillance permanente de l'état de santé de la population. Dans le sillage de cette prise de conscience de la nécessité d'actions proactives, la France s'est dotée d'un plan national santé environnement (PNSE), le premier du genre en Europe lancé dès juin 2004. Ces textes résultent de la volonté de répondre plus efficacement aux grandes crises de santé publique à la suite des angoisses générées dans les années 80-90 par l'épidémie de sida, l'explosion du réacteur nucléaire de Tchernobyl, l'encéphalopathie spongiforme bovine (ou maladie de la vache folle) ou encore la multiplication des cancers broncho-pulmonaires liés à l'exposition à l'amiante. Les outils réglementaires en matière de réduction et de gestion prévisionnelle de même que les instruments d'alerte ont fait des progrès importants depuis ces dernières décennies. Mais les dispositifs d'alerte fonctionnent autour de l'activation d'acteurs de gestion de crise comme c'est le cas pour les déclarations de déclenchement épidémique. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) par exemple rassemble dans des bulletins toutes les informations disponibles « *pour aider les responsables politiques et le grand public à se tenir informés de la situation* ». De son côté, l'Institut national de veille sanitaire (InVS) tente de graduer la réponse des acteurs par cinq niveaux de risque épidémique préalablement définis. En outre, et nous l'avons déjà développé, des centres collaborateurs sont en charge de la surveillance de l'activité épidémique de pathologies fréquentes. Ils analysent le signal épidémique soit en modélisant et en anticipant le déclenchement et l'intensité d'une épidémie sur la base d'une participation volontaire de médecins généralistes (réseau Sentinelles) soit, dans le cadre de la grippe *stricto sensu*, en analysant la composition antigénique des virus circulants et l'efficacité vaccinale en plus d'une surveillance épidémiologique (Groupes Régionaux d'Observation de la Grippe – GROG).

Or, l'identification de vulnérabilités territorialisées a une incidence majeure. Elle consiste à définir des signatures structurelles et conjoncturelles, c'est-à-dire des informations sociales, démographiques, technologiques, etc., spécifiques ou non à chaque risque. Elle permettrait une gestion plus pérenne des épidémies et des actions de santé publique territorialement ciblées. Les progrès de l'analyse spatiale depuis les années 1970 permettent de les prendre en compte en croisant différentes échelles spatiales et de multiples temporalités. La démarche géographique d'évaluation quantitative des risques sanitaires consiste donc à synthétiser et à modéliser avec un protocole raisonné les connaissances environnementales disponibles et pertinentes pour anticiper les impacts futurs d'une exposition à un aléa sanitaire. Dans ce chapitre, cette méthode sera présentée avec application à titre d'exemple à la grippe sur le territoire métropolitain.

I - Les vulnérabilités liées au risque grippal

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, en Europe, le gain d'espérance de vie de trois mois chaque année, l'évolution des causes de mortalité vers les maladies cardio-respiratoires, les cancers et les accidents, ont contraint à revenir aux déterminants sociaux spatiaux des maladies. Les différences d'espérance de vie selon les métiers (Desplanques, 1976), selon les catégories socioprofessionnelles (Vallin, 1993) montrent une imbrication entre les déterminants sociaux et donc spatiaux (lieu de résidence, lieu de travail) et les déterminants biologiques. Or, désormais, l'apport croisé des méthodes statistiques, des progrès de la cartographie, de la géomatique rend possible l'analyse multi-factorielle des causes de risques sanitaires et facilite la représentation de ses résultats. Quelques exemples que nous allons présenter permettent, au minimum, de s'interroger sur la présence de facteurs autres que purement liés à l'environnement physique jouant sur l'incidence des épidémies de grippe. Il est évident que les déterminants sociaux intervenant dans l'exposition plus ou moins aiguë au virus de la grippe ne sont pas homogènes et équi-répartis sur le territoire métropolitain. Dès lors, en considérant cette « hétérogénéité », il devient clair que certains territoires ne possèdent pas le même niveau de vulnérabilité que les autres.

1 - L'inégale exposition au risque

1-1 Des régions plus ou moins touchées

Pour ce qui concerne plus spécifiquement les épidémies de grippe, il convient de mettre en évidence des facteurs de risques, d'envisager les éléments qui peuvent accroître la vulnérabilité. On comprend alors que la vision probabiliste très quantitative de l'épidémiologie doit être complétée par une approche plus sociétale dans laquelle l'analyse des populations vise à comprendre les différences de taux d'incidence observés sur le territoire pour éventuellement anticiper le risque épidémique à l'échelle de territoires déterminés. Dans une logique d'analyse des facteurs de risque tant sociaux qu'environnementaux et leur spatialisation : le géographe et ses méthodes ont toute leur place. La démarche géographique s'appuie sur le paradigme que la localisation des objets (maison,

routes, gares, ouvriers, etc.) n'est pas le fruit du hasard. Cette discipline analyse donc les logiques, les causes et les conséquences de la localisation des peuplements et des activités des sociétés humaines. Elle vise à proposer une approche modélisée de l'espace géographique en mettant en évidence des formes récurrentes d'organisation des objets à travers des notions-clés : distance, réseaux, nœuds, situation... L'espace géographique n'est donc pas un simple support mais un élément majeur d'une organisation. Dans le cas d'une épidémie, l'analyse spatiale s'attachera à localiser précisément les lieux d'apparition, de développement de la maladie et les croisera avec d'autres objets comme les caractéristiques des populations, des infrastructures, etc. L'analyse spatiale permet ainsi de définir des types d'organisation plus ou moins résilients face à un aléa (une menace) extérieur.

Toutes les régions ne semblent pas soumises au même niveau de risque. En effet, en considérant tous les régions françaises comme potentiellement égales devant la maladie, nous ne devrions pas observer de différences significatives dans les niveaux d'incidence calculées sur l'ensemble de la période couverte par le réseau Sentinelles. Malgré tout, des différences allant presque jusqu'à un facteur deux peuvent être constatées. Ainsi, les moyennes des incidences régionales calculées sur la base de toutes les semaines depuis 1984 (plus exactement, les écarts centrés réduits : Fig. n°72 p.224) montrent une grande hétérogénéité. Nous pourrions presque opposer les régions d'une France de l'intérieur aux autres régions. Ainsi, les taux d'incidence constatés vont d'une classe 0,52/0,77 en Auvergne, Centre, Poitou-Charentes, Basse-Normandie à 1,34 en Rhône-Alpes. Si les conditions environnementales supposées meilleures dans une logique de conservation/transmission du virus pourraient expliquer les fortes incidences observées en Rhône-Alpes, pourquoi l'Auvergne (où l'altitude va jouer un rôle dans la diminution de la température) est créditée de taux si faibles ? De même, comment expliquer des taux comparables entre l'Aquitaine et l'Alsace qui connaît des températures moyennes hivernales nettement inférieures. Dès lors, deux constats doivent être tirés : nous sommes face aux limites du « tout explicable par le climat » et d'autres facteurs doivent inéluctablement entrer en ligne de compte dans l'explication de ces niveaux de risque différents.

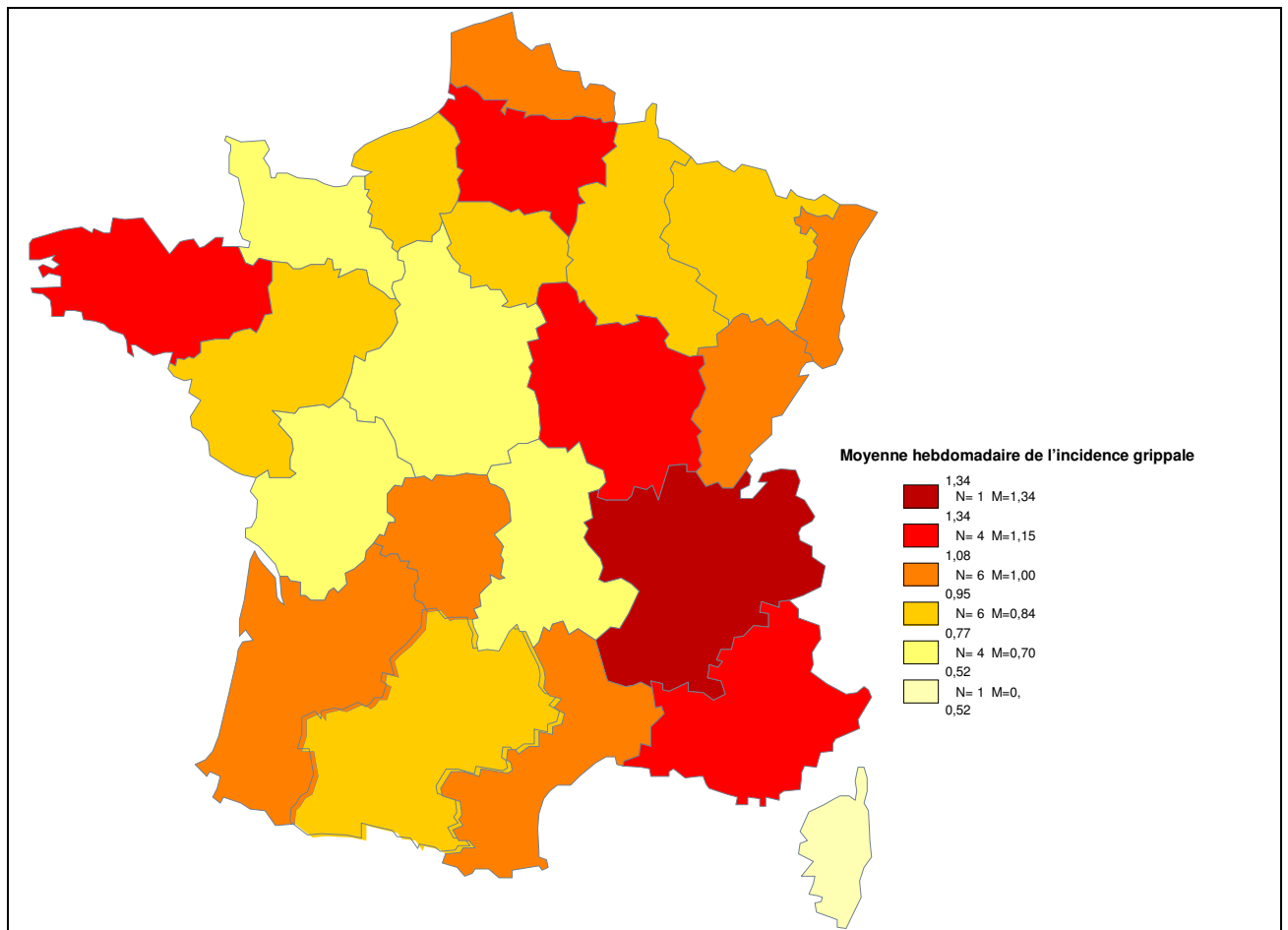


Fig. n°72 : Moyennes hebdomadaires régionales de l'incidence grippale
(Calculée sur l'ensemble des semaines depuis 1984)

La Corse n'est pas représentée car une surveillance dense et de qualité n'existe que depuis le début des années 2000. Il est vrai que des données ont été transmises entre 1984 et le début du second millénaire, néanmoins elles étaient trop parcimonieuses pour faire l'objet d'un calcul de moyenne.

1-2 Des épidémies qui se diffusent sur le territoire

Dans un autre registre rappelons que l'épidémie de grippe, en dépit d'une « simultanité » dans son déclenchement à l'échelle saisonnière, n'intéresse pas toutes les régions en même temps. Il y a une véritable propagation épidémique. Le premier schéma de propagation d'une épidémie de grippe fut réalisé par le docteur J. Bertillon pour la saison 1889-1890. En compilant les données de mortalité de Saint-Petersbourg à Londres en passant par Berlin, Vienne et Paris, Bertillon (1892) mit en lumière précocement un schéma de

propagation épidémique allant à l'inverse du synchronisme de déclenchement que l'on prône actuellement. Les pics épidémiques se succèdent clairement de Saint-Petersbourg à Londres en suivant une trajectoire résolument est-ouest (Fig. n°73). L'intensité des niveaux de mortalité n'est clairement pas comparable entre les villes étudiées : Bertillon l'explique notamment par l'impact de la grippe sur des sujets déjà atteints par d'autres pathologies, la phtisie dans certaines villes autrichiennes par exemple. Malgré tout, la propagation semble glisser de l'Asie vers l'océan Atlantique. L'environnement au sens social permet d'entrevoir des pistes de recherche : analyses démographiques de villes, niveau de connectivité des territoires, niveaux socio-économiques des habitants vont permettre de formuler des hypothèses pour expliquer l'intensité ou le niveau d'exposition temporo-spatiale au risque. Bertillon se situe désormais à une échelle plus vaste que les murs d'une ville et entrevoit partiellement une dynamique épidémique. Il réalisa aussi un nombre important de recensements des personnes décédées en les classant par âge puis par causes de décès. Son analyse stricte de la mortalité le poussa vers quelques conclusions hasardeuses, affirmant notamment « *qu'elle offre peu de danger pour les enfants* ».

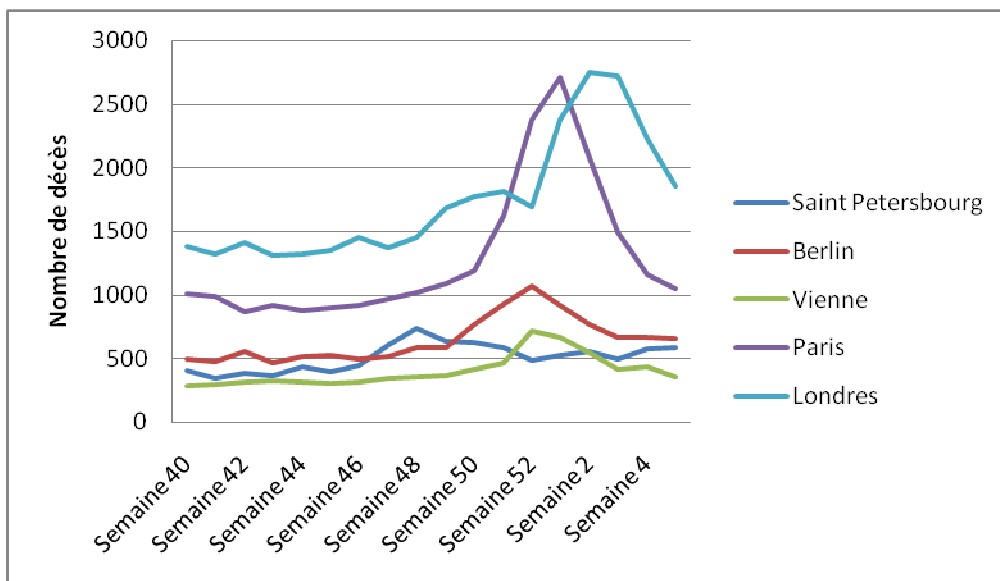


Fig. n°73 : Nombre de décès hebdomadaires en Europe de l'ouest lors de l'épidémie de grippe de l'hiver 1889 – 1890 (d'après Bertillon)

Si, certes, la mortalité est plus élevée chez les sujets d'âge avancé, nous savons désormais que les taux de morbidité chez les enfants sont néanmoins très élevés. C'est la notion de danger qui devient ici discutable. En n'utilisant que les données de mortalité, Bertillon donna

l'illusion de ne traiter qu'une maladie de sujets âgés. Par un habile changement d'échelle, Bertillon glissa vers une analyse intra-communale à Paris. Distinguant clairement des vulnérabilités relatives aux individus (classes d'âges plus touchées, tentatives de définition de professions à risque), il lui arrive même d'envisager mais de manière encore trop superficielle la question de la vulnérabilité spatiale. Ainsi, il va noter l'excès de mortalité par arrondissement à Paris en donnant une indication du « degré d'aisance » : ces croisements se révélèrent peu concluants mais l'intention de distinguer des secteurs présentant des niveaux de risque différents était évidente. Le problème dans la manipulation des données semble être l'utilisation exclusive de données sectorielles et non spatiales. Finalement, dans ses treize conclusions, Bertillon revient à six reprises sur l'action de la grippe vis-à-vis de sujets déjà atteints par une autre pathologie (action de la grippe sur les phtisiques, sur les tuberculeux, sur les sujets atteints de maladies chroniques etc.). Il revient également sur les classes d'âges les plus touchées, sur les professions les plus exposées, et affirme l'inégalité du *sex-ratio* [la grippe est] « deux fois moins dangereuse pour les femmes que pour les hommes ». Il réalise de plus une analyse d'échelle temporelle légèrement différente pour étudier la variation de fréquence des avortements et note une très sensible diminution des naissances neuf mois après l'épidémie. Ce n'est que dans une seule des ses conclusions qu'il en vient à distinguer des villes plus touchées que d'autres en Europe. En évoquant un nombre important de facteurs de vulnérabilité des individus, en se posant la question de secteurs plus exposés, on sent nettement que Bertillon effleure la notion de vulnérabilité spatiale qu'il ne peut envisager, peut être, du fait d'un contexte scientifique (sociologie naissante, statistique débutante) et d'un paradigme centré sur la protection sociale des individus, qui progressivement deviendra un droit aux soins pris en charge par l'assurance.

De nos jours, les cartes en anamorphoses basées des incidences de semaines types permettent de visualiser les décalages temporels. Ces cartes peuvent être réalisées sous la plateforme ESRI Arcgis 9.2 en utilisant l'extension *cartograms*.

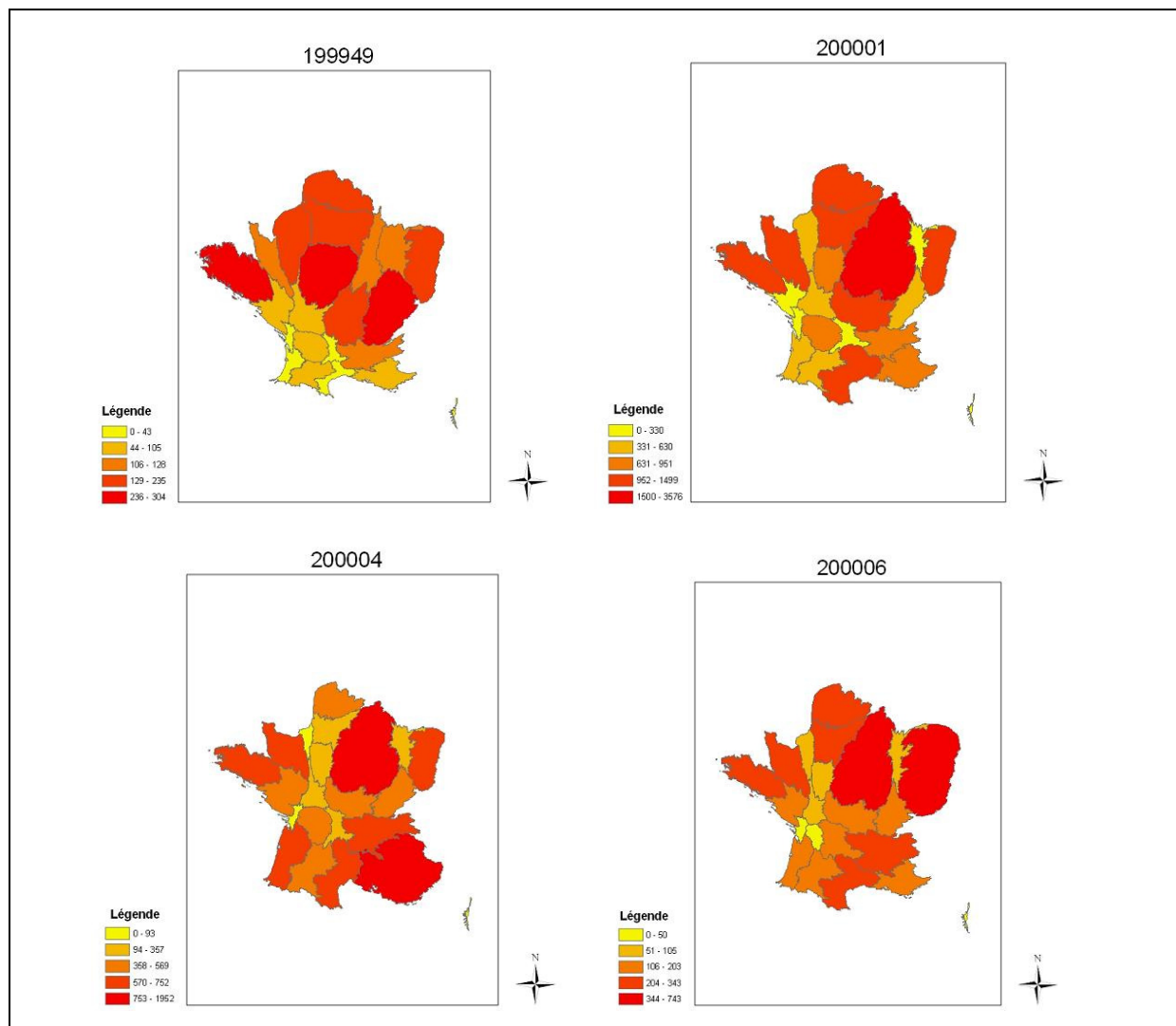


Fig. n°74 : Représentation en anamorphose des incidences régionales de la grippe lors de quatre semaines types de la saison 1999-2000 (légende en nombre de cas / 100 000 hab)

Le principe de la carte en anamorphose est de réaliser une déformation d'un territoire donné sur une carte : cette déformation est proportionnelle à la valeur de la donnée que l'auteur souhaite représenter. De fait, il est impossible (du moins sous Arcgis) de représenter des valeurs négatives. L'analyse de quatre semaines type de la saison 1999-2000 (Fig. n°74) met en évidence la propagation épidémique. Les quatre semaines choisies correspondent à des « moments » précis : la semaine 49 de 1999 (fin novembre-début décembre) correspond au déclenchement « officiel » de l'épidémie, la semaine 01 de 2000 (début janvier) est celle du pic épidémique, la semaine 04 de 2000 (fin janvier) annonce la décrue tandis que la semaine 06 de 2000 (mi-février) correspond à la fin de l'épidémie selon les autorités sanitaires. Il est important de noter que les couleurs sont générées automatiquement et que les déformations ne

sont pas comparables d'une carte à l'autre : chaque carte doit être lue indépendamment si l'on souhaite considérer les niveaux d'incidence. En revanche, si l'on souhaite s'interroger sur la vague épidémique (d'où vient-elle et où va-t-elle ?) la simple analyse des déformations permet de répondre à ces interrogations. Dans cet exemple, il semble relativement clair que l'épidémie arrive par le nord et l'est de la France pour continuer à se déplacer vers le sud y compris après le pic épidémique. L'importance des voies de communication a été mise en lumière dans maintes publications. En prenant l'exemple des États-Unis, Viboud et al. (2006) montre que l'épidémie de 2001-2002 est tardive. Les auteurs avancent que le pic n'est atteint qu'en mars du fait du net déclin du trafic aérien observé après les événements du 11 septembre 2001. Dans le même registre, Crepey et Barthélemy (2007) démontrent l'importance des dessertes aériennes dans la diffusion des épidémies. Cette même étude avance, en outre, la diffusion régionale de proche en proche des épidémies de grippe : ce que suggèrent également les cartes en anamorphoses précédemment montrées.

1- 3 Des régions touchées plus ou moins précocement

Un autre indice montrant des différences spatio-temporelles dans l'exposition au risque serait une analyse de la précocité du déclenchement. Toutes les régions ne franchissent pas le seuil épidémique en même temps : certaines le franchissent statistiquement plus précocement. Ceci peut être cartographié. Réaliser une carte mettant en avant les régions plus ou moins précocement touchées nécessite un léger travail préparatoire sur les données disponibles. Il convient, dans un premier temps, d'extraire des banques de données du réseau Sentinelles l'ensemble des taux d'incidence par régions et par semaines depuis 1984. Les valeurs de seuils épidémiques ne sont disponibles que pour les 10 dernières années. Celles-ci oscillent entre 120 et 150 cas pour 100 000 habitants en fonction des années. Arbitrairement, nous définissons un seuil épidémique commun de 120 cas / 100 000 habitants. Afin de minimiser la présence de fausses alertes, nous considérons la semaine de déclenchement comme étant la première d'une séquence d'un moins deux semaines > 120 cas / 100 000 habitants à partir de la première semaine d'octobre (généralement la semaine légale n° 40). A partir de là, nous pouvons définir une semaine de déclenchement pour chacune des régions lors de chaque épidémie.

Pour chaque saison, il est possible de classer chaque région de la première à la dernière touchée. Dans un second temps, nous attribuons un poids numérique à chacune des régions (ex : si les 22 régions avaient, chose improbable, leurs déclenchements qui se succédaient sur

22 semaines, la plus précoce aurait un poids de 22 etc.). Finalement, nous additionnons ces « poids » pour chaque région depuis 1984 ce qui aboutit à la création d'un indice de précocité qui peut être cartographié (Fig. n°75).

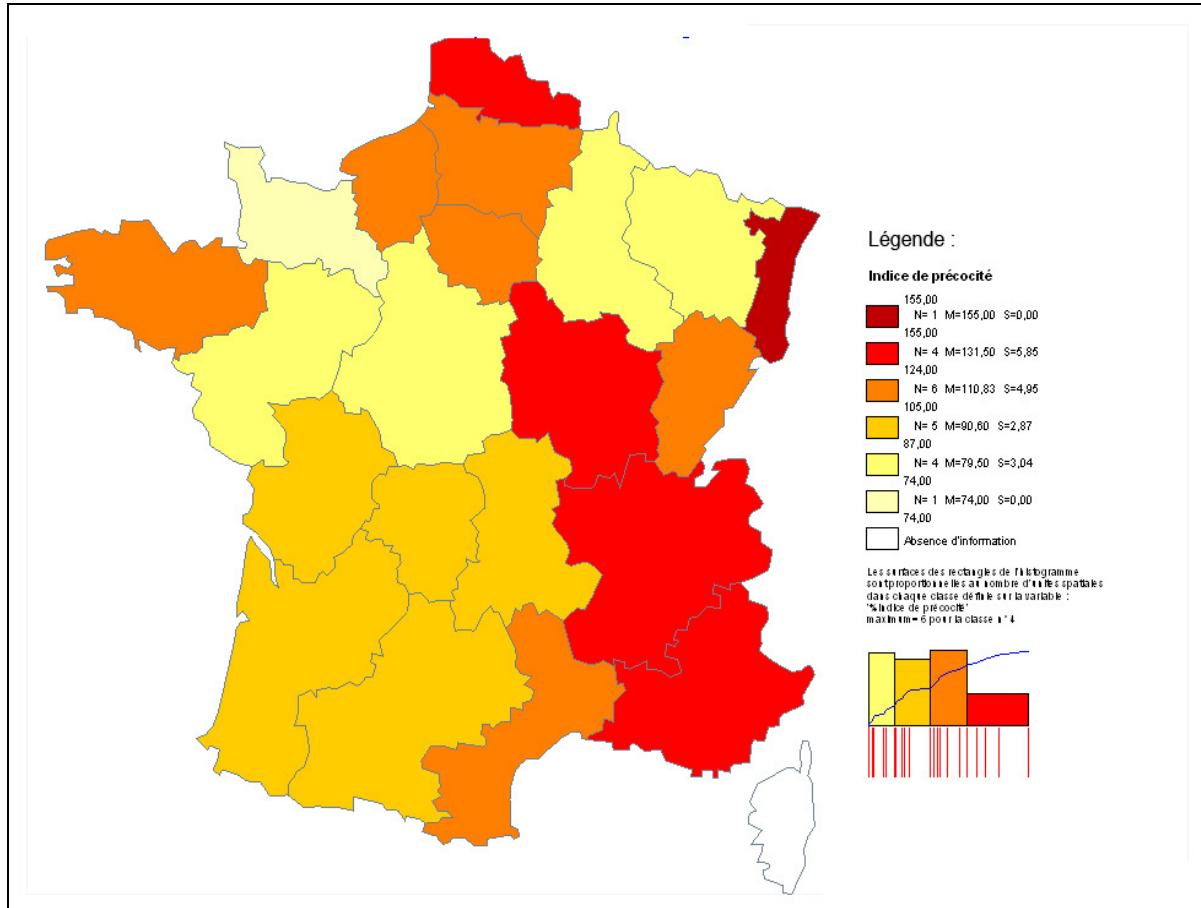


Fig. n°75 : Des régions plus précocement touchées par l'épidémie saisonnière de grippe

Bien que la Corse ait des données depuis quelques années, nous les avons jugées trop parcimonieuses au regard de celles des autres régions, ainsi cette région ne fait pas l'objet de l'analyse ci-présentée. En pensant à l'exemple du SRAS selon lequel le virus transite préférentiellement par l'avion, nous aurions pu penser que l'Île de France soit touchée presque toujours en premier (Aéroports de Paris a accueilli 87,1 millions de passagers en 2008³³) or, il n'en est rien. Une large frange Est du pays est majoritairement infectée en premier par l'épidémie saisonnière de grippe. Les niveaux de précocité du Nord-Pas-de-Calais ainsi que de la Bretagne doivent également être notés. Le schéma, présenté plus d'un siècle plus tôt par Bertillon, d'une vague épidémique glissant de l'Asie à l'Atlantique semble se

³³ <http://www.aeroportsdeparis.fr/ADP/fr-FR/Groupe/Finance/ChiffresCles/Trafic/>

retrouver. Une diffusion par contacts directs et à terre semble être majoritaire dans l'importation du virus sur le territoire métropolitain. Malgré tout, la présence de population à risque (*i.e.* plus susceptibles de contracter le virus rapidement) et le niveau d'ouverture d'une région sur l'extérieur doit jouer dans cette précocité de déclenchement. Les migrations peuvent expliquer, peut-être, la précocité observée en Bretagne notamment. Située sur un Finistère, cette région aurait dû être selon toute logique touchée tardivement. Or, l'exemple d'années comme 1999, montre que le déclenchement épidémique se fait conjointement au retour des marins.

1-4 Démographie et épidémiologie : des liens étroits

L'étude des corrélations entre les densités de population et le taux d'incidence grippale est également très parlante lorsque l'on évoque l'importance de facteurs démographiques dans l'explication des niveaux d'incidence. L'INSEE fournit les données relatives aux populations régionales en 1999 : nombres d'habitants, densités. Dans le même temps, les données du réseau Sentinelles fournissent les estimations d'incidences grippales et de nombres de cas par régions. Des corrélations ont été calculées sur des semaines témoins correspondant à des moments clés de l'épidémie de la saison 1999-2000 : la semaine d'accélération de la courbe d'incidence, la semaine de dépassement du seuil Serfling, la semaine du pic épidémique, enfin une semaine peu avant la fin de l'épidémie. Le seuil de significativité de ces corrélations est fixé avec une marge d'erreur de 0,1. Les résultats présentent ainsi une évolution notable des corrélations en fonction du temps. La corrélation la plus forte est observée entre le nombre de cas et la densité de population (coef =0,90 p=0,1), ce qui n'a rien de surprenant étant donné que les régions les plus denses sont aussi les plus peuplées : plus de personnes = plus de malades. De même, toutes les corrélations calculées entre le poids démographique d'une région et le nombre de cas sont positives (Tab. n°16 p.231). Les corrélations les plus intéressantes sont celles observées entre la densité de population régionale et le nombre de cas (Fig. n°76 p.231) et surtout entre l'incidence grippale et la densité qui se révèle significative à un seul moment : lors du franchissement du Serfling (*i.e.* semaine 49 de l'année 1999). Ce facteur de densité est extrêmement intéressant en ce sens qu'il peut être considéré comme un indicateur de promiscuité ; promiscuité nécessaire à la propagation du virus.

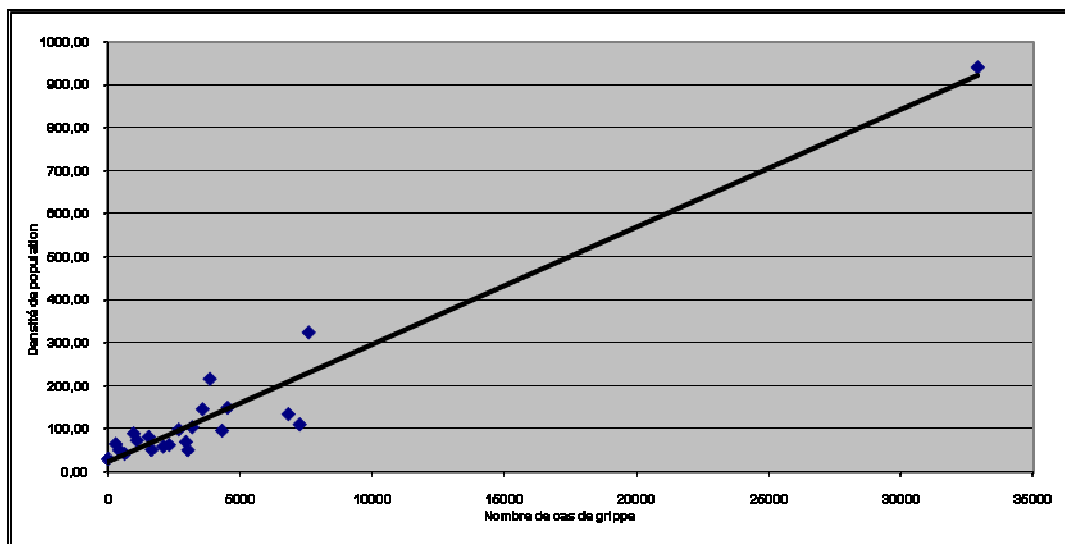


Fig. n°76 : Nombre de cas de grippe et densité de population : une relation fortement significative

Tab. n° 16 : Evolution temporelle des corrélations épidémio-démographiques (seuil signi. 0,33)

| Semaine 47 -1999 | | |
|------------------|---------------------------|--------------|
| Corrélation | Nbre. de cas / Densité | 0,590 |
| | Incidence / Densité | 0,105 |
| | Nbre. de cas / Population | 0,608 |
| | Incidence / Population | 0,144 |
| Semaine 49 -1999 | | |
| Corrélation | Nbre. de cas / Densité | 0,969 |
| | Incidence / Densité | 0,547 |
| | Nbre. de cas / Population | 0,907 |
| | Incidence / Population | 0,399 |
| Semaine 01 -2000 | | |
| Corrélation | Nbre. de cas / Densité | 0,721 |
| | Incidence / Densité | 0,006 |
| | Nbre. de cas / Population | 0,779 |
| | Incidence / Population | -0,038 |
| Semaine 05 -2000 | | |
| Corrélation | Nbre. de cas / Densité | 0,532 |
| | Incidence / Densité | -0,066 |
| | Nbre. de cas / Population | 0,681 |
| | Incidence / Population | -0,083 |

Lors de la semaine 49 (fin novembre), il n'est peut être pas anodin de constater que l'Aquitaine (3 045 000 habitants, 74 hab/km²) présente une incidence grippale nettement inférieure à celle de l'Alsace qui est moins peuplée mais bien plus densément (1 800 000 habitants, 217 hab/km²).

Retenons qu'il existe très certainement un lien entre des facteurs démographiques et les modalités de diffusion de la grippe. Mais un seuil à partir duquel d'autres logiques prennent le relais se dessine. De plus notons que la notion de densité est très relative : une densité très faible dans un département montagneux comme les Hautes-Alpes n'a pas de sens car les personnes sont, malgré, tout concentrées dans les vallées. Ainsi plus que la densité, c'est la promiscuité générée par les activités d'un territoire qui pourrait être plus explicative.

On l'a vu, de nombreux indices nous poussent à penser que les territoires ne sont pas tous soumis au même niveau de risque. Il semble, en effet, que certaines régions connaissent (en moyenne) plus de cas ; d'autres sont généralement touchées avant les autres ; d'autres enfin se situent sur la trajectoire de la propagation épidémique. Ces observations calculées sur la base de plus de vingt années de données nous conduisent à formuler des hypothèses explicatives en lien avec vulnérabilités. Certes, le climat offre sur une grande frange nord-est des conditions optimales pour le déclenchement épidémique mais comment expliquer alors les niveaux d'incidence en Bretagne ? Comment expliquer la précocité du déclenchement en région PACA ? Il est alors évident que des variables explicatives autres que le milieu physique doivent rentrer en ligne de compte. Des facteurs de vulnérabilité liés à la structure démographique, aux activités, à l'attractivité des territoires régionaux vont être envisagés et seront développés dans le chapitre suivant.

2 - Une double vulnérabilité : celle des lieux et celle des individus qui les habitent

L'hétérogénéité des états de santé d'une population peut s'expliquer par différentes causes et différents mécanismes. Le rapport Black (Black et al. 1982) avance des conceptions novatrices des déterminants de la santé et de la maladie. Sans pour autant reprendre toutes les « explications » du rapport Black dans le cadre de cette thèse, nous présentons malgré tout les 6 « explications » principales. Ensuite, nous évoquerons et nous discuterons des facteurs jugés pertinents dans la thématique de la vulnérabilité et de l'exposition à la grippe. Enfin, parmi ces pistes, nous choisirons les facteurs les plus adaptés et éliminant autant que possible les informations redondantes.

2-1 Les enseignements du rapport Black

Voici donc présentées les 6 « explications » principales du rapport Black concernant l'hétérogénéité spatiale des états de santé. Résumons les par :

- *La causalité inversée.* Ceci peut s'énoncer de la manière suivante en reprenant l'hypothèse de la dérive sélective « *les différences de la mortalité par niveau de revenu seraient dues au fait que les malades deviennent pauvres et non que les pauvres deviennent malades* ». Ceci revient à dire : « *si une caractéristique X d'une population est corrélée avec une maladie, c'est parce que les personnes malades ont développé la caractéristique X et non parce que X est la cause de la maladie* » (Evans et al. 1996). Certaines variations géographiques peuvent s'expliquer par le fait que ceux qui sont malades ne quittent pas le lieu où ils sont, alors que les individus en bonne santé émigrent. Notons néanmoins que cette manière d'expliquer l'hétérogénéité s'applique difficilement à une épidémie saisonnière telle que la grippe. La causalité inversée ne semble pas bien expliquer l'hétérogénéité des états de santé en fonction de la classe sociale.
- *La vulnérabilité différentielle.* En général, le potentiel discriminant d'un individu (ex : son apparence ou sa taille) influence autant son état de

santé que son appartenance à tel ou tel sous-groupe de la population. La taille est reconnue en Angleterre comme un facteur prédictif de la mobilité sociale intergénérationnelle. Plusieurs explications furent mises en avant. La taille est un marqueur de réussite génétique qui devient prédictrice d'une ascension sociale. Les différences de tailles à l'intérieur d'une même classe sociale peuvent refléter le niveau de bien être de l'environnement de la petite enfance. Contrairement à la santé, la vulnérabilité différentielle peut constituer un facteur explicatif de l'hétérogénéité des états de santé. Malgré tout, celle-ci semble difficilement applicable dans un cas traitant de la grippe.

- *Les modes de vies individuels* soit les effets sur l'état de santé moyen des divers sous-groupes d'une population, des différences d'habitude de vie et de comportements relatifs à la santé. L'observation d'une association entre l'hétérogénéité de l'état de santé et la fréquence relative de comportements à risque ou pathogènes (tabagisme, obésité etc.) ne doit pas nous permettre de conclure trop rapidement. Les habitudes relatives à la santé peuvent être conditionnées par l'environnement social de l'individu. De la même manière, l'environnement social exposera l'individu de manière plus ou moins aigu à des agents pathogènes ou l'amènera à se placer dans une situation de plus grande vulnérabilité.
- *L'environnement physique* (ou aérologique) soit les effets potentiellement pathogènes de l'exposition à des agents chimiques, physiques et biologique au domicile, au travail ou ailleurs. Mais l'environnement physique peut être envisagé de façon plus large. Dans ce cadre d'étude, il ne serait peut être pas idiot de considérer les régions plus « froides » comme des territoires dont « l'environnement physique » fournit un terreau préférentiel aux virus grippaux.
- *L'environnement social et la réponse psychologique.* Cette catégorie inclut un ensemble très diversifié de résultats concernant les effets qu'ont sur la santé le soutien social ou l'isolement, les carences

affectives, le stress et la capacité de réagir des individus. Ces notions englobent, de façon générale, tous les aspects de la société susceptibles d'affecter l'état de santé. Notons néanmoins, qu'aucune étude n'a démontré un lien entre l'état psychologique des individus et leur vulnérabilité face à la grippe.

- *L'accès différentiel aux services de santé.* L'hétérogénéité des états de santé peut enfin résulter de différences systématiques dans les comportements de recours aux soins, dans l'accès aux services de santé ou encore dans la disponibilité d'autres ressources qui influencent l'efficacité des soins. Cependant, cette thématique du recours au soin (au cœur de la géographie de la santé) intervient en aval de cette thèse et n'expliquera pas le pourquoi d'une exposition accrue à l'agent pathogène ou d'une incidence grippale plus élevée ici qu'ailleurs.

Ainsi, ces six facteurs posent un cadre conceptuel riche à l'hétérogénéité des états de santé. Dans ce cas de la grippe en France, quelles sont les variables pertinentes dans l'augmentation de la vulnérabilité de tel ou tel territoire ?

2-2 Une vulnérabilités des lieux

Le mode de transmission de la grippe est lié aux aérosols expulsés par les individus. Le confinement des populations en hiver augmente la transmissibilité du virus : les individus sont plus proches et le virus migre mieux d'un individu à l'autre. Ainsi, si l'on souhaite opérer une différenciation spatiale des lieux de plus ou moins forte vulnérabilité à la grippe, il convient de s'interroger sur les facteurs qui augmentent la promiscuité, qui créent des brassages de populations. Il s'agit de s'interroger également sur les facteurs qui font qu'un territoire attire plus qu'un autre en hiver mais également sur son niveau de connectivité avec l'extérieur. Ainsi, certains facteurs vont accroître le risque de contracter une grippe : tout cela pour concevoir un modèle explicatif de l'incidence grippale basé sur ces variables éco-socio-démographiques. Compte tenu des données régionales du réseau Sentinelles, l'échelle d'analyse sera la région même si les données INSEE descendent à l'échelle de la commune. Nous allons rapidement voir que ces données de lieu sont de deux ordres. Tout d'abord des données plutôt relatives aux migrations et d'autres plus structurelles évoquant les activités et les services.

2-2-1 Des variables structurelles

Elles prennent en compte les activités et les services de la région. Certains services et certaines activités contribuent à accroître le risque de contracter une grippe dans une région plutôt que dans une autre. Soit parce que des services et activités sont plus présents dans une région plutôt que dans une autre, de fait cette région attire plus de personnes et donc potentiellement plus de malades ; soit parce que certaines activités concentrent plus de personnes que d'autres, la promiscuité y est plus forte, la probabilité de rencontrer des personnes malades devient plus élevée. Les différentes variables sont :

- le « **nombre de lits d'hôpitaux** ». est extrait des séries statistiques de l'Insee de 2004. La somme des nombres de lits en établissements hospitaliers publics et privés par régions permet de situer la vulnérabilité régionale car l'hôpital est un lieu de forts brassages de population : la probabilité d'y rencontrer un grippé est plus élevée.

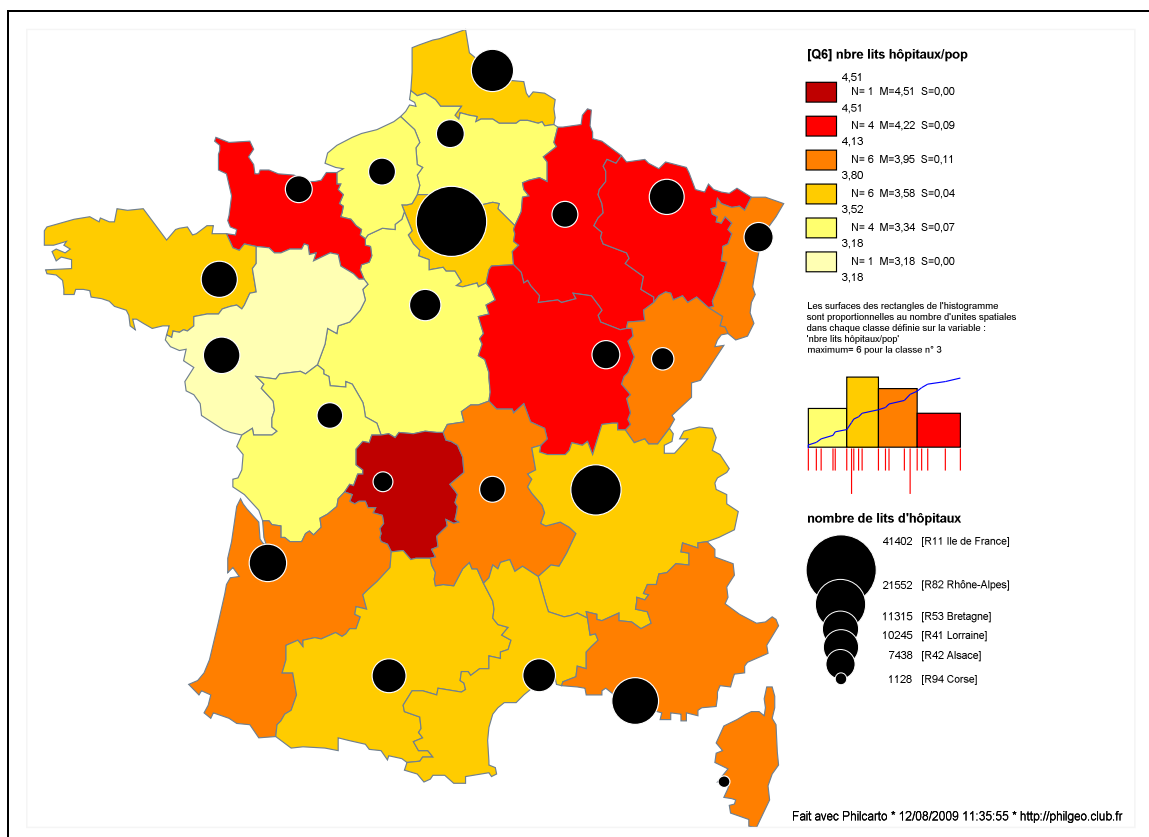


Fig. n°77 : Le nombre de lit d'hôpitaux par habitants³⁴

³⁴ Le rapport du nombre de lit par habitants, par commodité dans la réalisation cartographique, a été multiplié par 1 000. Il convient ainsi de considérer le nombre de lit par habitant dans la légende en le multipliant par 10^{-3} .

Ces effectifs de lits sont en suite ramenés à la population totale régionale : nous obtenons un nombre de lit par habitant. Ces données sont, dans un premier temps, cartographiées. Nous faisons figurer sur un même fond cartographique les nombres absolus de lits d'hôpitaux par régions que nous ramenons ensuite à la population régionale (Fig. n°77 p.236).

Sans surprise, les régions les plus peuplées sont celles qui disposent du plus de lit d'hôpitaux : Ile-de-France, Rhône-Alpes, PACA ou Nord-Pas-de-Calais notamment. Malgré tout, en ramenant ce nombre de lit d'hôpitaux à la population régionale, on constate que certaines régions sont mieux dotées que d'autres à l'encontre du schéma qu'une simple lecture des valeurs absolues de lit offre. C'est ainsi que le Limousin, la Bourgogne, Champagne-Ardenne ou la Lorraine pour ne citer qu'elles font bénéficier à leurs habitants d'un nombre de lits plus élevés que les grandes régions dans l'absolue mieux dotées.

- **les « entreprises de plus de 100 salariés ».** Ces données Insee datent de 2004. Nous avons retenu les entreprises de plus de 100 salariés, les données se présentent sous la forme d'un pourcentage d'entreprise de plus de 100 salariés sur l'ensemble des entreprises de la région. Comme les entreprises de plus de 100 salariés concentrent en un même lieu de nombreux individus, le confinement s'allie au grand nombre de personnes pour créer des conditions favorables à la rencontre de porteurs de la grippe. Ainsi, les régions des entreprises de plus de 100 salariés ont une population soumise à une vulnérabilité plus élevée.

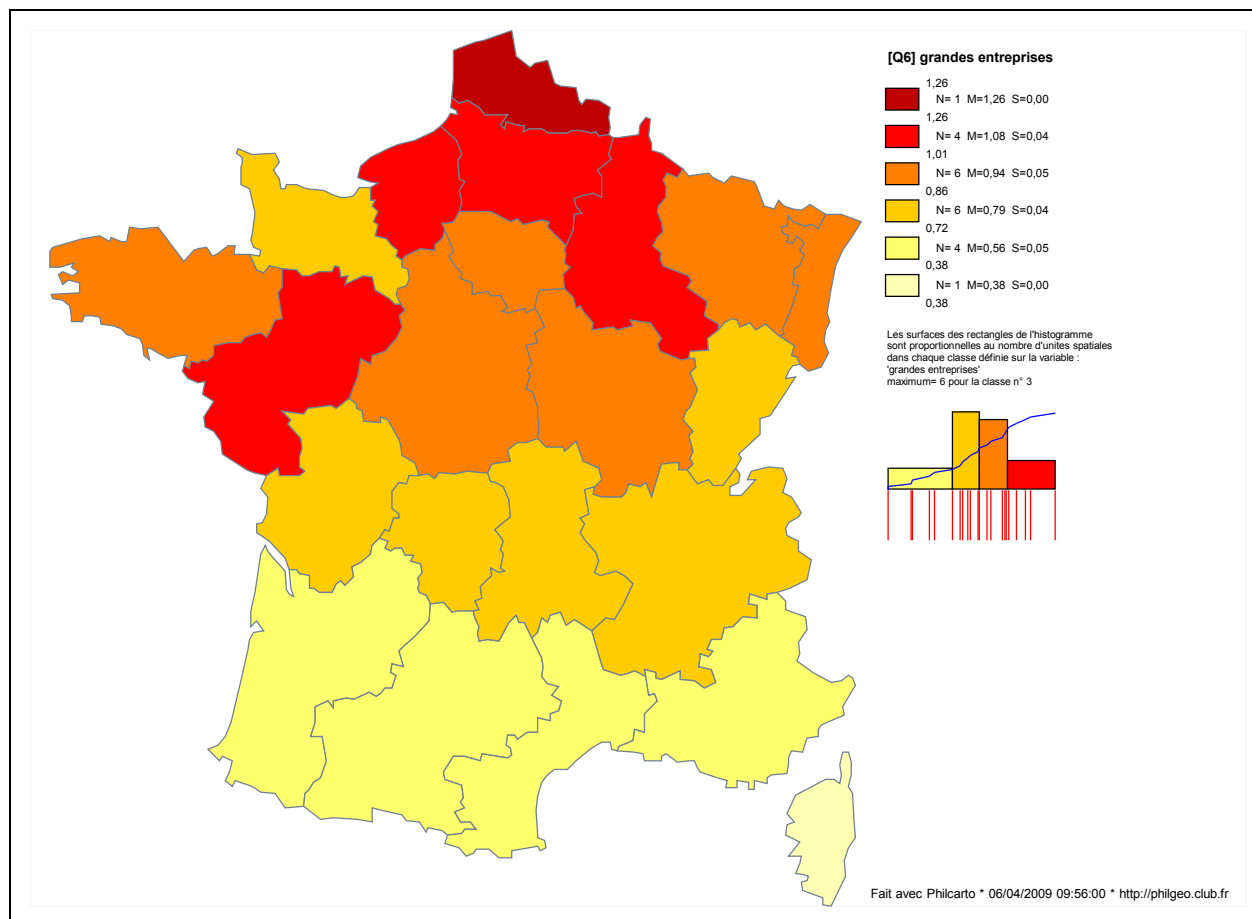


Fig. n°78 : Implantation régionale des grandes entreprises.

L'implantation des grandes entreprises à l'échelle régionale propose une géographie opposant le nord et le sud. La France du nord est celle de la grande entreprise. Héritières d'une tradition industrielle datant du XIX^e siècle, les régions allant de l'Alsace à la Bretagne concentrent nombre de ces industries : automobiles, textiles, sidérurgie etc. ... On observe ainsi sur la figure n°78 un net gradient nord-sud.

- **Le nombre d'inscrit dans un établissement d'enseignement supérieur en 2006** (ministère de l'enseignement supérieur). Ces effectifs sont ramenés à la population des 20-24 ans (n'ayant pas les 18-25). Les établissements d'enseignement supérieur, à l'instar des hôpitaux, jouent de deux manières sur l'accroissement de la vulnérabilité d'un territoire. Tout d'abord, plus une région est dotée en établissements d'enseignement supérieur plus les élèves seront nombreux et viendront de loin. Ensuite, les établissements d'enseignement supérieur sont des lieux de très forts brassages de population. Il n'est pas rare de compter jusqu'à 500 étudiants dans un amphithéâtre de médecine par exemple.

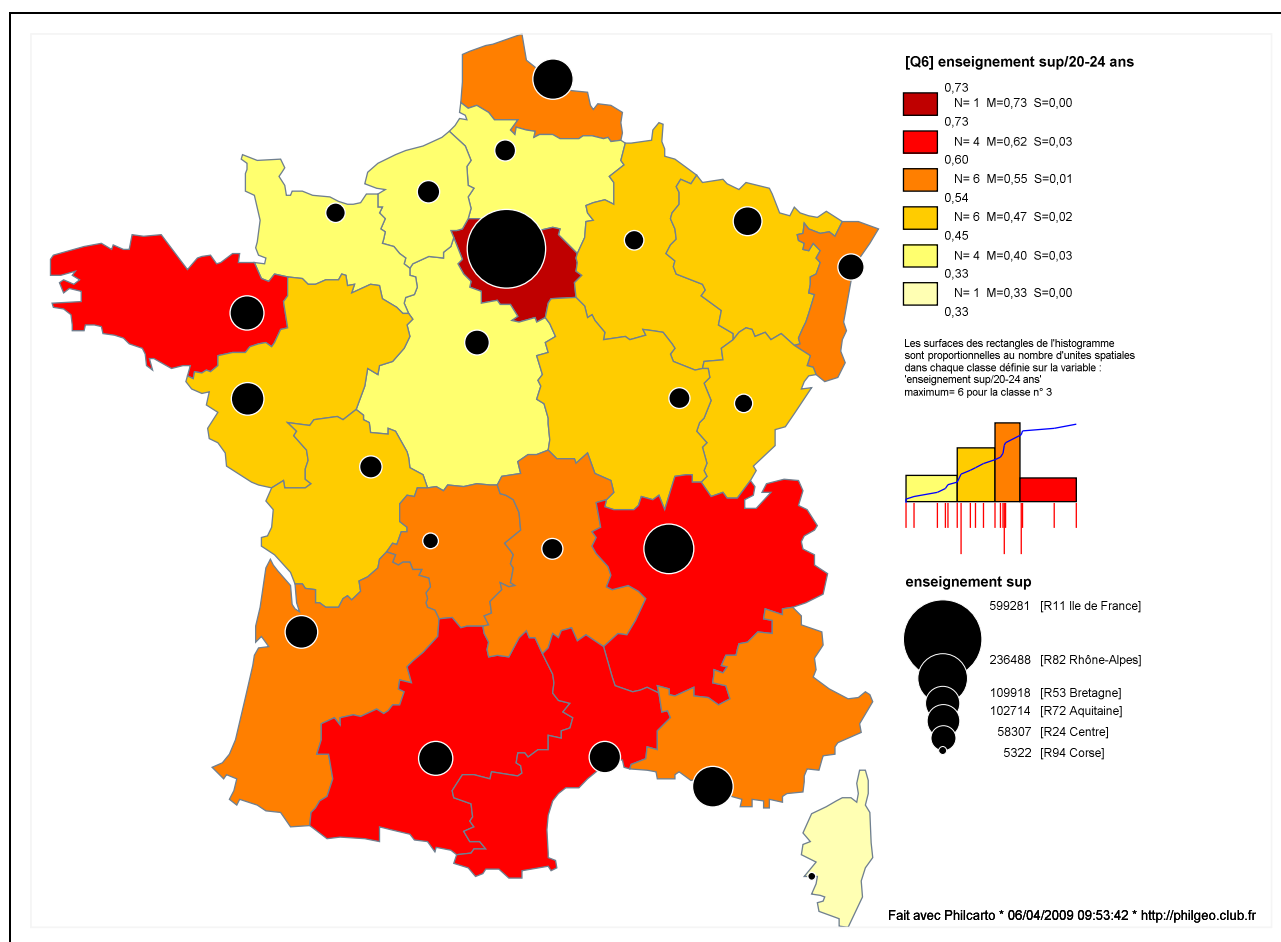


Fig. n°79 : Les inscrits dans un établissement d'enseignement supérieur par rapport à la tranche d'âge 20-24 ans à l'échelle des régions.

La figure n°79 montre que les régions les plus peuplées sont celles qui ont le plus d'étudiants. Bien évidemment, l'Ile-de-France se distingue nettement, suivent PACA ou le Nord-Pas-de-Calais. C'est en ramenant les effectifs d'inscrits à la tranche d'âge considérée dans cet exemple que l'on observe certaines surprises. Les ratios d'effectifs d'étudiants sur la tranche d'âge 20-24 ans sont particulièrement notables certes en Ile-de-France ou en Rhône-Alpes mais plus élevés en Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées ou Bretagne qu'en PACA ou Nord-Pas-de-Calais. De fait, une simple lecture des inscrits dans l'enseignement supérieur aurait été biaisée.

- **les grandes surfaces commerciales** (INSEE 2004). Le nombre de grandes surfaces à prédominance alimentaires (supermarchés et d'hypermarchés) ramené à la population totale régionale permet de situer régionalement le nombre journalier de brassages (des milliers de clients et des centaines d'employés).

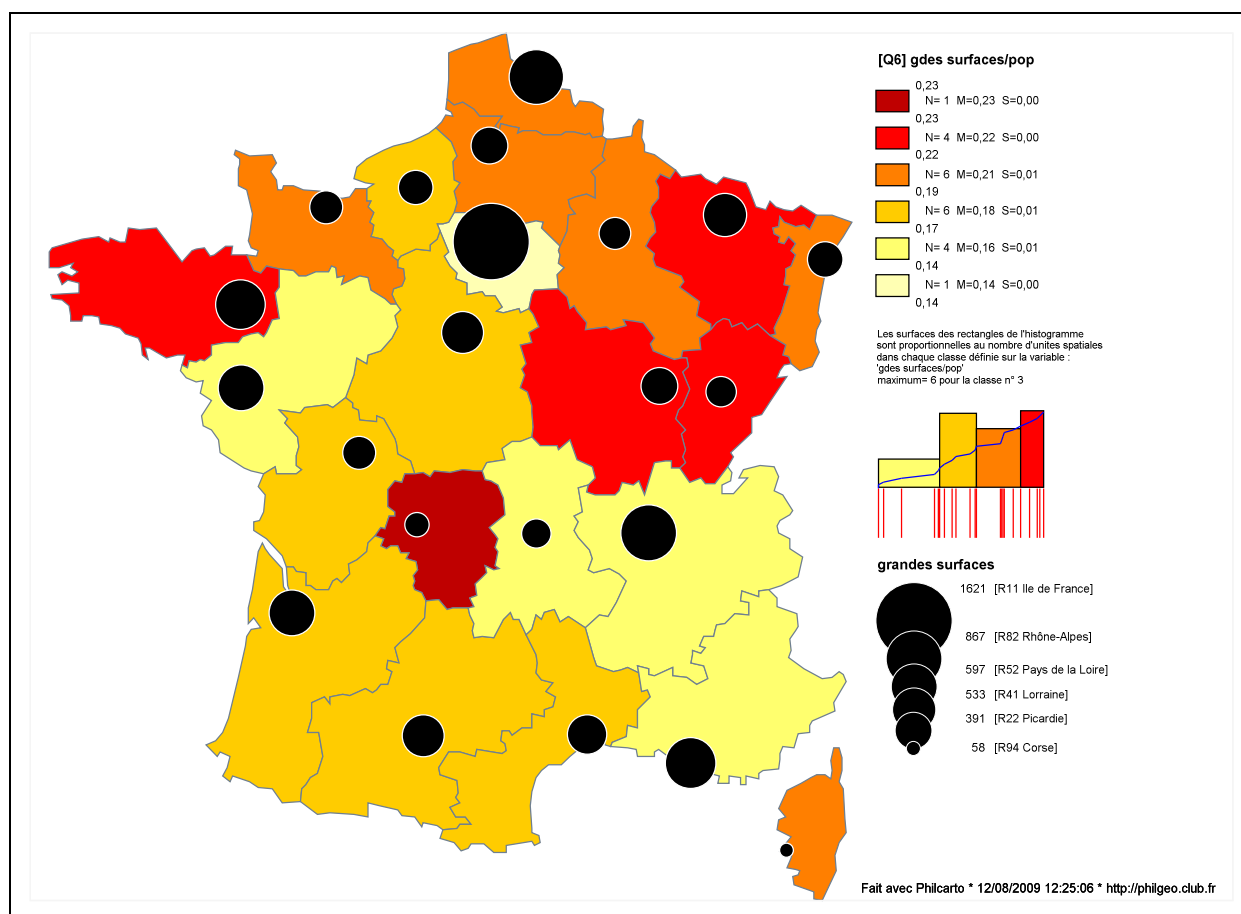


Fig. n°80 : Les grandes surfaces alimentaires dans les régions³⁵.

Bien entendu, une fois n'est pas coutume, ce sont les régions les plus peuplées qui sont les mieux pourvues en grandes surfaces alimentaires. L'Ile-de-France, Rhône-Alpes ou PACA se retrouvent, de fait, en tête au regard des valeurs absolues de supermarchés et d'hypermarchés. C'est en ramenant ces effectifs de grandes surfaces aux populations régionales que l'information prend tout son sens. Le Limousin, la Lorraine, la Franche-Comté, la Bourgogne ou encore la Bretagne sont alors les régions qui offrent le plus de grandes surfaces *per capita* (Fig. n°80).

- **la densité de population en 2006** (INSEE). Suite à la corrélation significative calculée précédemment entre la densité de population et le taux d'incidence à certains moments de l'épidémie, il nous a paru important d'intégrer cette variable. De plus, le bon sens nous pousse à penser que plus une région est dense, plus la promiscuité

³⁵ Comme pour les hôpitaux, les nombres de grandes surfaces par habitant ont été multipliés par 1 000 par commodité cartographique. Il convient, de nouveau, de multiplier ces chiffres par 10³.

(facteur essentiel de la diffusion épidémique) est importante. Finalement, plus la densité est élevée, plus la diffusion épidémique est favorisée.

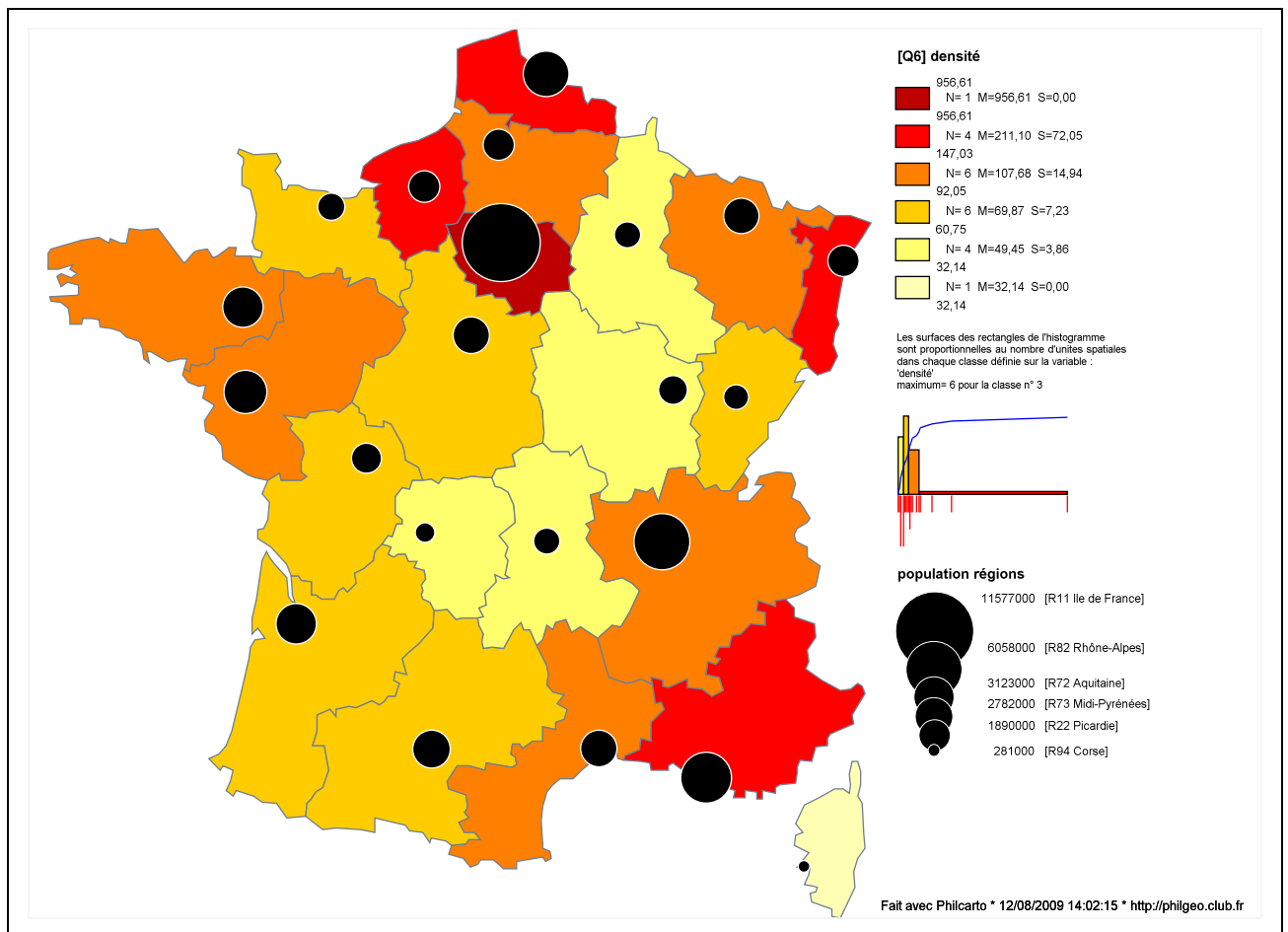


Fig. n°81 : Populations et densités régionales en France en 2006

Il n'est vraisemblablement pas inutile de rappeler que les régions les plus peuplées ne sont pas forcément les plus denses (Fig. n°81). Ainsi, à populations comparables l'Aquitaine et la Bretagne n'offrent pas la même densité tandis que l'Alsace, moins peuplée, est bien plus dense que les deux précédentes. Rappelons que la densité mesure un nombre d'habitant par unité de surface : plus la région est grande, plus la population est potentiellement diluée.

2-2-2 Des variables de migrations

Elles ont trait à la mobilité des personnes soit saisonnièrement, soit quotidiennement (migration des personnes donc du virus).

- **le solde touristique** (ministère du tourisme 2004). Il est calculé par soustraction des effectifs départementaux de population résidente à la population présente. (population résidente : population ayant sa résidence principale dans le département ; population présente : population résidente – résidents en voyage + touristes). Cette soustraction nous donne ainsi une indication de solde touristique. Nous ne retenons que les données d’octobre à mars uniquement et cumulons les moyennes départementales pour obtenir un solde régional et les ramenons à la population totale régionale. Une carte du solde touristique non ramenée à la population met clairement en évidence l’attractivité hivernale de la région Rhône-Alpes (Fig. n°82). Durant la saison froide, nous observons des soldes touristiques nettement positifs sur une large frange ouest de la France. Evidemment Rhône-Alpes, du fait des nombreuses stations de ski, voit un solde touristique très élevée. C’est également le cas, dans une moindre mesure, des régions PACA et Languedoc-Roussillon : recherche du soleil durant les mois d’hiver ? ; mais également de la Basse-Normandie et de la Bretagne. Le corollaire est que des régions se vident dans le même temps, à commencer par l’Ile-de-France. La migration touristique peut s’accompagner d’une migration des virus : les lieux à plus fort potentiel touristique connaissent un afflux d’individus potentiellement malades.

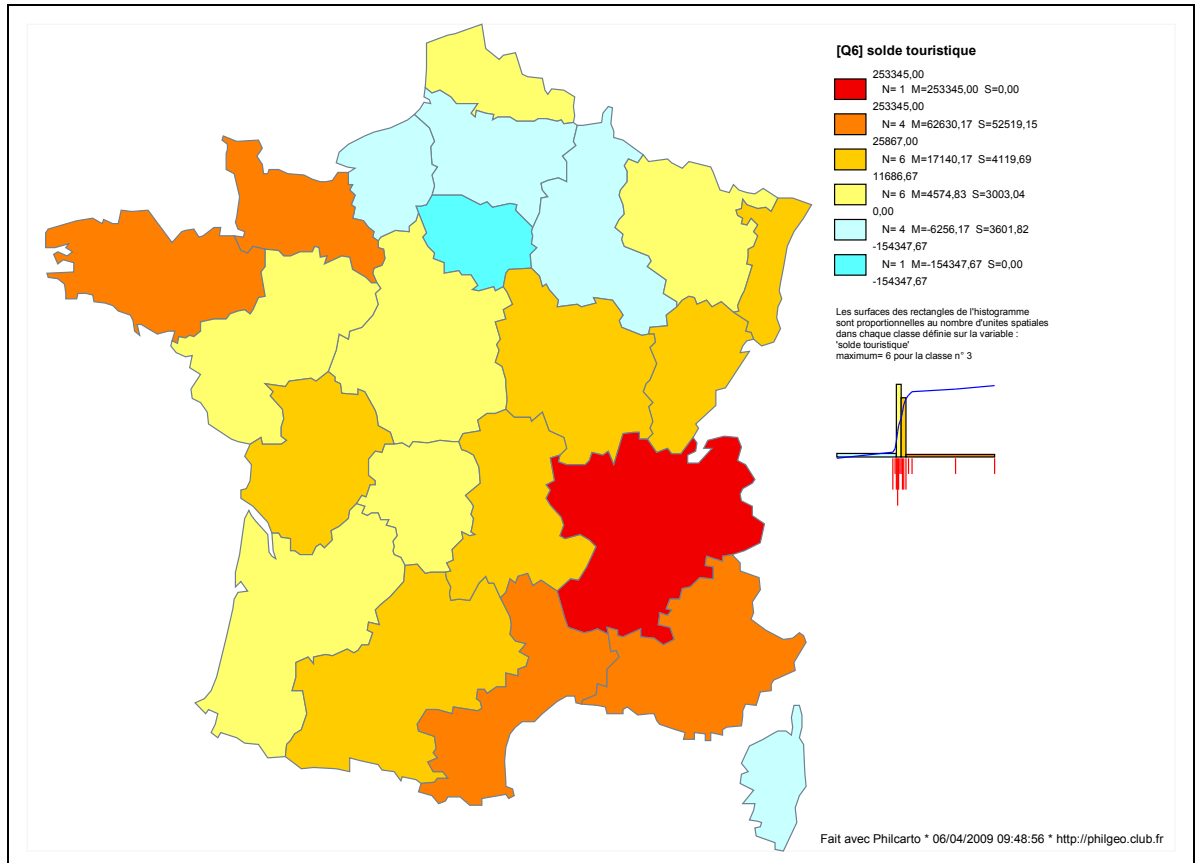


Fig. n°82 : Soldes touristiques régionaux en 2004 d’octobre à mars

Ceci peut expliquer des niveaux d'incidence, des dynamiques de diffusions spécifiques à un moment de l'épidémie mais n'intervient pas dans le déclenchement épidémique à proprement parler. Même si ceci n'est pas très net, on peut observer sur les cartes du réseau Sentinelles de deux semaines de février 1991 (Fig. n°83), un renforcement de l'activité épidémique en Rhône-Alpes coïncidant avec le début des vacances d'hiver.

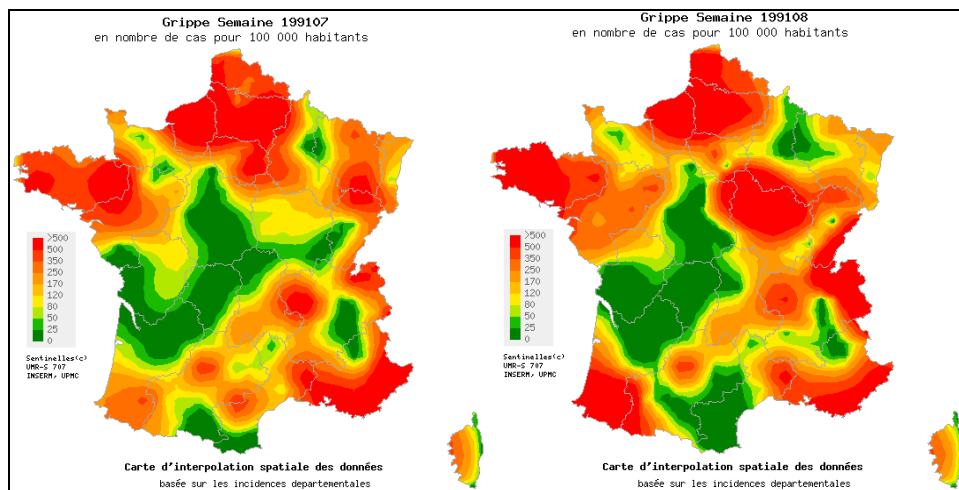


Fig. n°83 : L'activité épidémique en France à la mi février 1991 (Sentinelles)

- **le trafic aéroportuaire** (Direction Générale de l'Aviation Civile 2006) a été matérialisé sous la forme de deux variables qui sont :
 - **le trafic aéroportuaire discrétisé** qui fut conçu à partir des données départementales de trafic des principaux aéroports (lignes intérieures et lignes internationales) cumulées par départements puis par régions. Nous avons opéré une discrétisation automatique en quatre classes de trafic par régions à l'aide de *philcarto*. Les régions sont codées de 1 à 4 en fonction de l'intensité de leur trafic.
 - **le trafic aéroportuaire hors Schengen** ouvert aux contrées les plus lointaines et définissant les portes d'entrées des épidémies. Cette variable qualitative est codée de manière binaire (0/1) selon qu'il existe ou non des dessertes régulières vers des destinations hors espace Schengen.

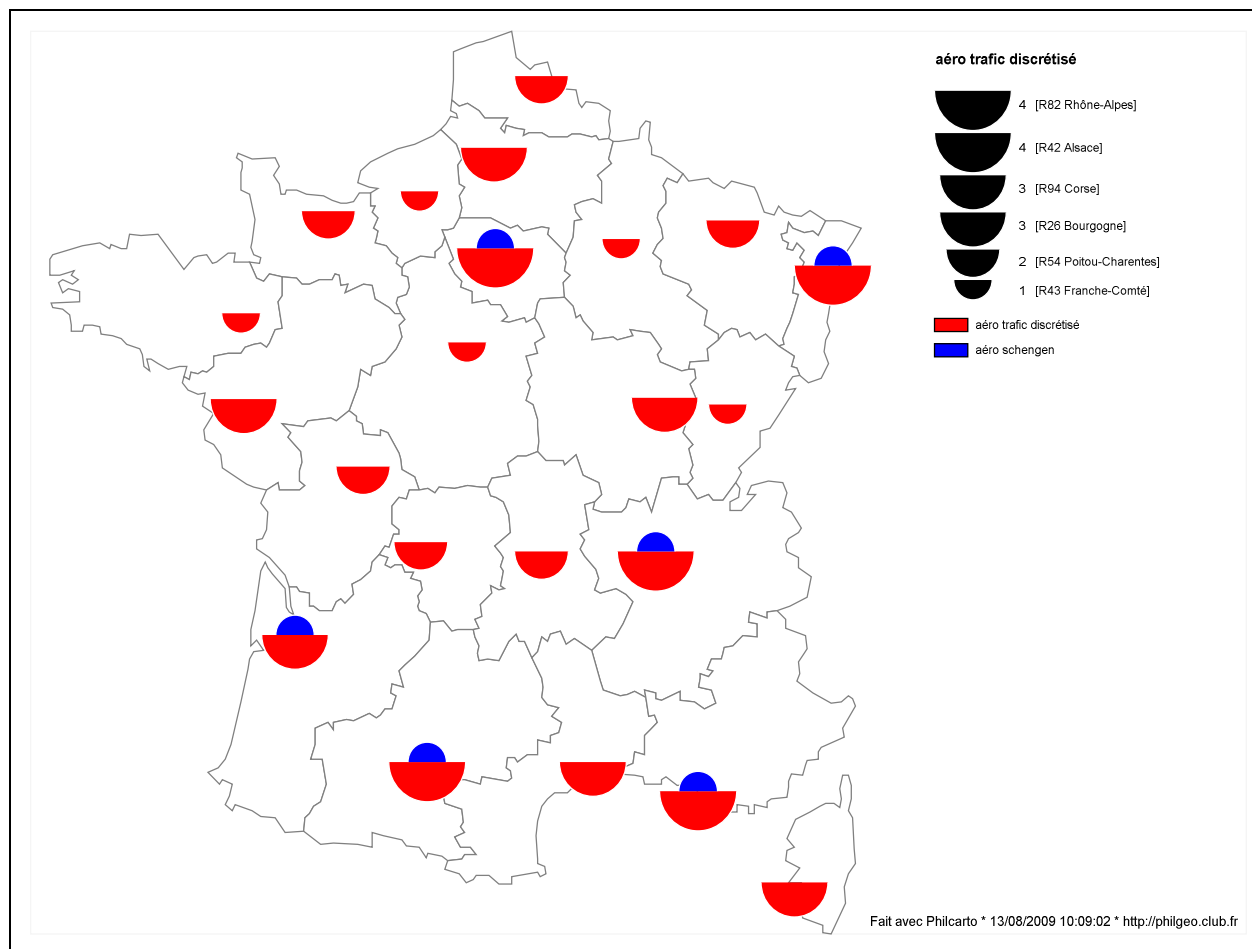


Fig. n°84 : L'importance du trafic aéroportuaire dans les régions françaises et les dessertes hors-Schengen

Les régions connaissant les trafics aéroportuaires les plus élevés sont bien entendu l'Ile-de-France mais également PACA, Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées ou encore l'Alsace (Fig. n°84). Certaines régions comme le Languedoc-Rousillon, la Corse ou les Pays de la Loire connaissent également des niveaux de trafic élevés mais leur degré d'ouverture, du fait de dessertes essentiellement intérieures ou européennes, reste faible. Les régions ouvertes à des destinations hors-Schengen sont : PACA, Midi-Pyrénées, Aquitaine, Rhône-Alpes, Ile-de-France et Alsace. Ce sont des portes d'entrées préférentielles du virus.

- **les nœuds ferroviaires** (2008). Les gares SNCF sont des lieux de forts brassages de populations. En outre, un nombre important de gares démontrent une connectivité importante d'un territoire vers l'extérieur et sont autant de « portes d'entrées » pour les virus. Comme les données du ministère des transports et de la SNCF ne concernent

que l'Aquitaine et le Nord Pas de Calais, il a été nécessaire de caractériser l'importance du flux d'une autre manière par la connectivité et donc le nombre de « nœuds ferroviaires ».

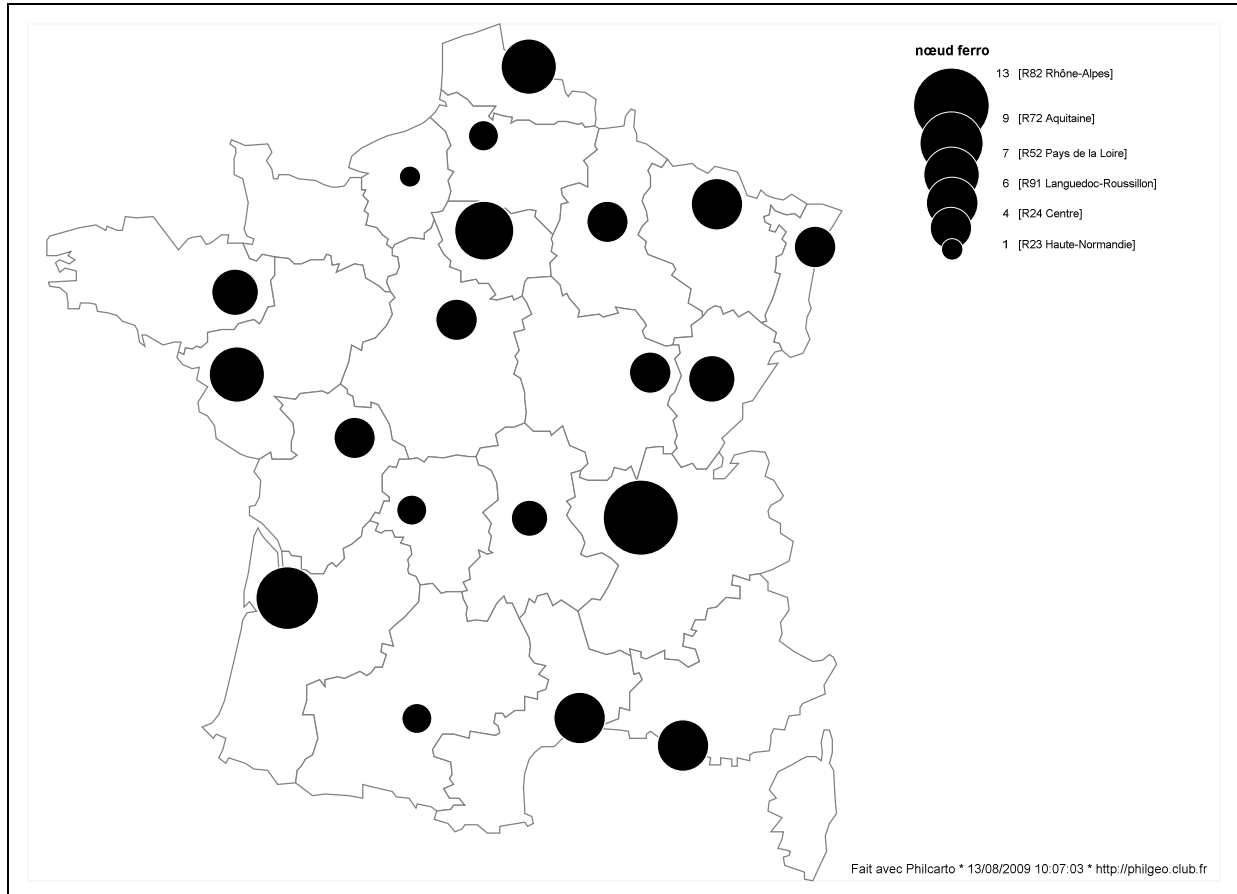


Fig. n°85 : Les nœuds ferroviaires en régions

Un nœud ferroviaire une gare à la jonction d'une ligne principale (i.e. : TGV et/ou Corail) avec une ligne secondaire. Les données par départements ont été cumulées par régions. Sans surprises, les régions connaissant le plus de nœuds ferroviaires sont celles qui cumulent plusieurs critères : un vaste territoire, la présence d'une grande métropole, le passage d'une ou plusieurs grandes lignes. Ainsi Rhône-Alpes, Ile-de-France, PACA, Languedoc-Roussillon, Aquitaine ou Nord-Pas-de-Calais sont les régions qui ont le plus de nœuds ferroviaires (Fig. n°85).

- **les migrations frontalières** ou les flux quotidien d'individus allant travailler dans des pays frontaliers et susceptible de permettre au virus de franchir la frontière.

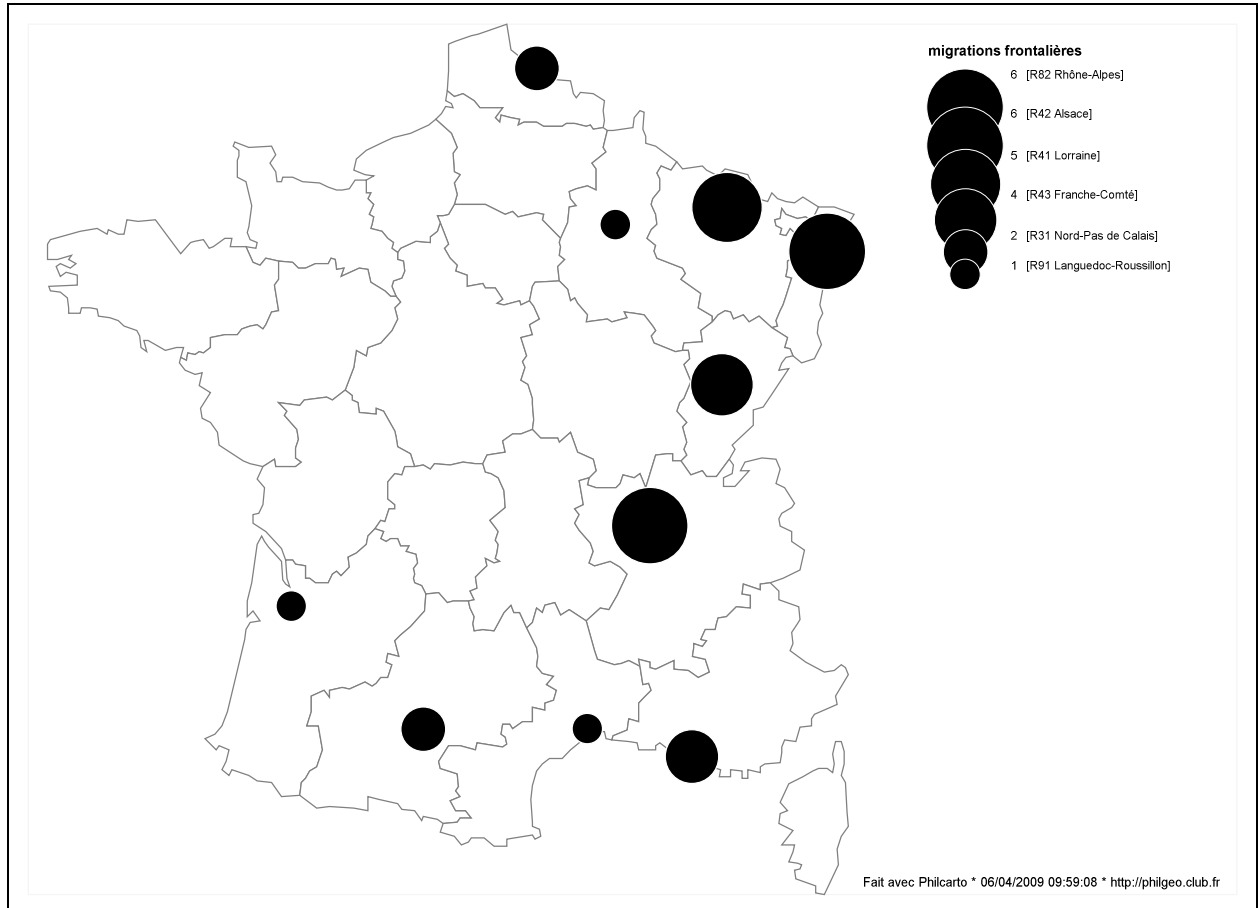


Fig. n°86 : Codage des migrations frontalières

Faute de données détaillées concernant les migrations pendulaires frontalières (juste des effectifs globaux vers les principaux pays d'accueil Suisse, Luxembourg et Allemagne), les départements frontaliers ont été coefficientés de la manière suivante : 2 pts pour les départements frontaliers d'un des 3 grands pays d'accueil, 1 pt pour les départements frontaliers des autres pays (Belgique, Italie, Espagne) et 1 pour le Pas de Calais et Paris pour leur proximité spatiale et temporelle (Eurostar) avec l'Angleterre (et la Belgique pour Paris : Thalys). Tout ceci est ensuite ramené à la région. (Exemple : Alsace = 6 points parce que Haut-Rhin : 2pts pour Suisse et 2 pts pour Allemagne ; Bas-Rhin : 2 pts pour Allemagne).

Toute la frange est du territoire français connaît des niveaux élevés de codage (Fig. n°86 p.246). Nombreuses y sont les régions possédant une frontière avec deux pays comme la Franche-Comté, Rhône-Alpes ou encore l'Alsace.

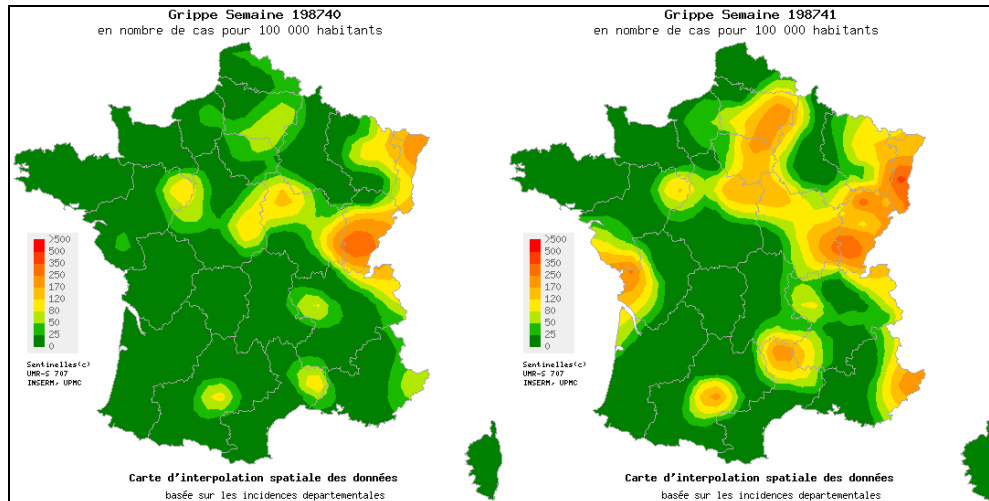


Fig. n°87 : L'arrivée de la grippe par l'est

la pêche a été retenue car de nombreuses épidémies semblent avoir démarré dans le sud de la Bretagne (Fig. n°88 p.248). Les pêcheurs peuvent contracter la maladie durant l'exercice de leur métier dans de lointaines contrées et la ramener au port d'attache en quelque sorte. Nous n'avons choisi que les effectifs de pêcheurs pour la pêche au large (navires d'absentant plus de 96h) et ceux de grande pêche (susceptibles de s'absenter plus de 20 jours). Ce type de pêche ne semble exister (selon les statistiques du ministère de tutelle) que dans le Nord Pas de Calais, la Bretagne, le Poitou-Charentes et l'Aquitaine. Nous avons malgré tout réalisé ce codage qualitatif : 3 pts s'il y a de la grande pêche, 2 pts s'il y a de la pêche au large, 1 pt pour les départements côtiers sans grande pêche ni pêche au large et 0 pts pour les autres.

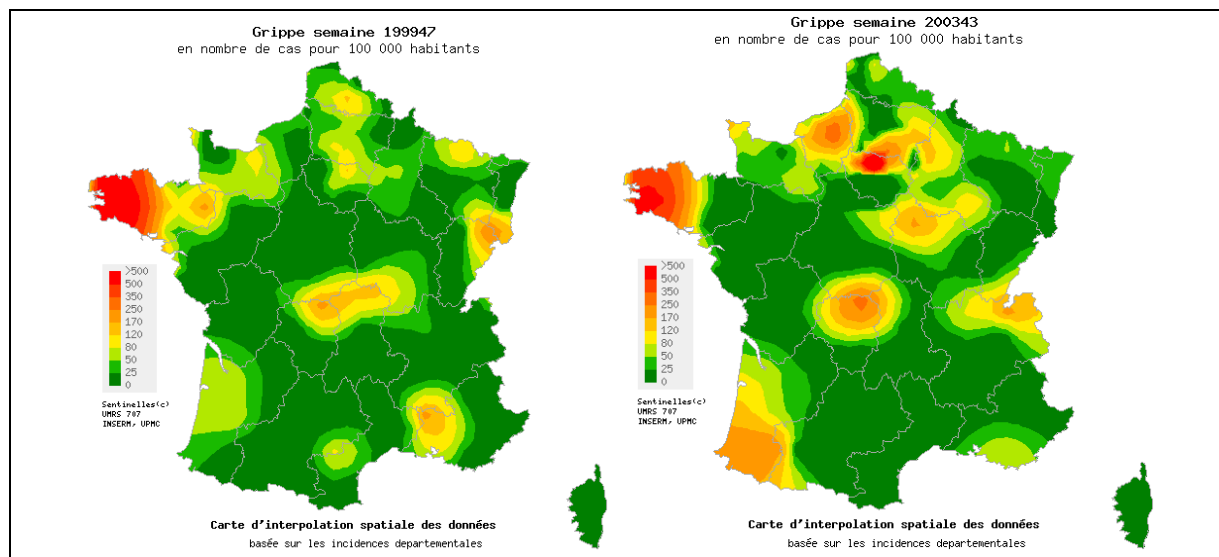


Fig. n°88 : Deux épidémies débutant en Bretagne (1999-2000 / 2003-2004)
(Sentinelles)

Il n'est pas, à ce stade, évident que toutes ces variables seront par la suite intégrées dans le cadre d'un modèle explicatif. Certaines sont certainement redondantes, d'autres peu robustes, d'autres peut-être erronées. Nous en discuterons par la suite. Il s'agissait ici de développer notre réflexion sur des éléments structurels d'une région pouvant potentiellement accroître le risque grippal. Notons que s'il existe des lieux aux vulnérabilités différentes, les populations qui composent ces territoires ne sont également pas homogènes. S'il existe une vulnérabilité liée aux lieux, il existe également une vulnérabilité induite par les individus qui y vivent. Il s'agit bien entendu de qualifier « en moyenne » une région, une population moyenne régionale : plus de médecins, plus d'enfants, plus d'agriculteurs, plus de vendeuses dans telle ou telle régions fera que cet espace sera *in fine* plus ou moins exposé.

2 – 3 Une vulnérabilité des individus

Toutes les personnes ne sont pas égales devant la grippe du fait de leur milieu social, de leur « biologie », de leur âge, de leur niveau d'activité. Il convient donc de réaliser une sélection de variables pertinentes mettant en lumière des sous-groupes de population plus ou moins vulnérables sur un territoire donné. L'échelle territoriale sera régionale comme la vulnérabilité liée au lieu pour les mêmes raisons de compatibilité avec les données biomédicales. Les données départementales ont donc été agrégées au niveau régional.

- Quelles sont les variables augmentant la vulnérabilité de certains groupes d'individus ?
 - **La part des moins de 20 ans** (INSEE 1999). Dans le cadre de la vie scolaire, enfants et adolescents sont amenés à passer de nombreuses heures dans la salle de classe, la cantine, la cour de récréation. Cet état de promiscuité augmente les possibilités de transmission virale.

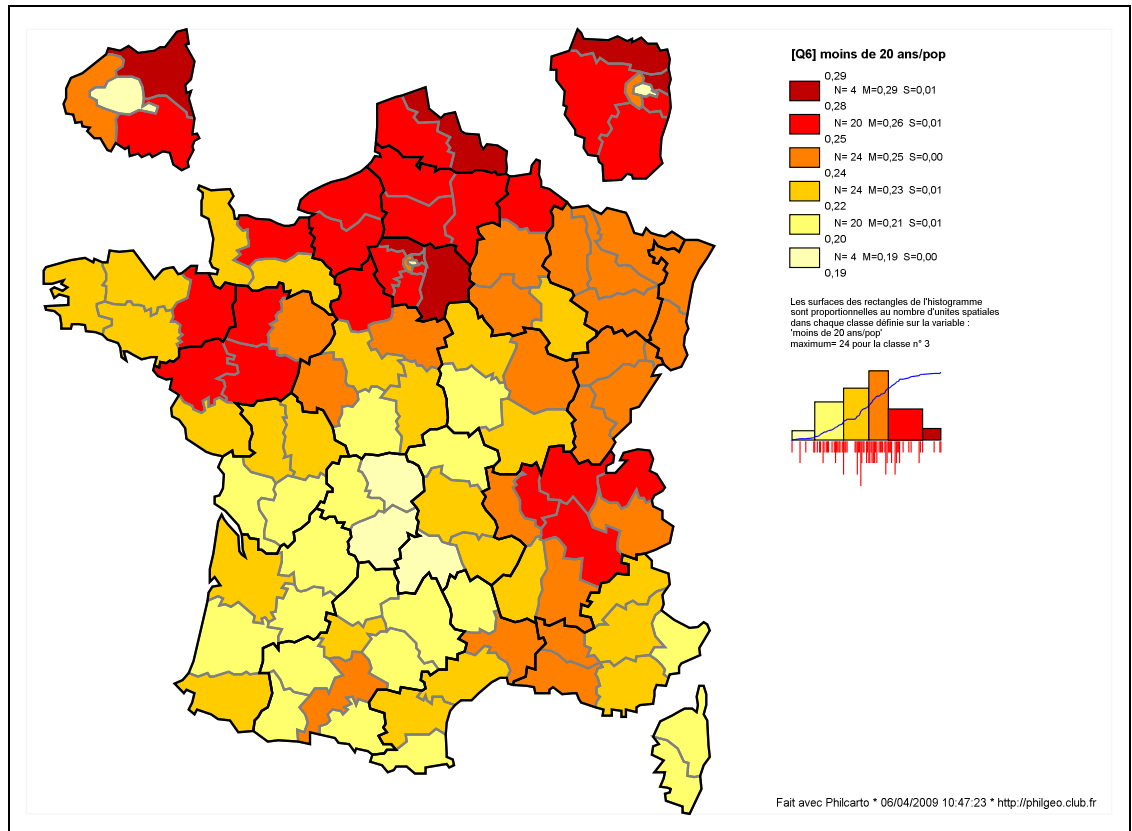


Fig. n°89 : Les moins de 20 ans en France

De plus, aucune campagne de vaccination anti-grippale ne concerne cette tranche d'âge. En conséquence, plus une population compte des moins de 20 ans (classe plus vulnérable), plus elle rend vulnérable la population régionale (augmentation des possibilités de contact avec les porteurs de virus). La Fig. n °89 montre la répartition géographique des moins de 20 ans en France métropolitaine. Hormis Rhône-Alpes aux populations jeunes, deux France semblent s'opposer : une France du nord jeune et une France du sud vieillissante. Les régions les plus jeunes sont l'Ile-de-France, la Picardie, le Nord-Pas-de-Calais et la Haute-Normandie.

- **Famille d'au moins trois personnes (INSEE).** Si la notion de ménage aurait pu être retenue dans un premier temps, la définition même du ménage n'incluait pas la dimension « enfant » à la variable. Seules les données relatives à la famille donnent une indication sur la présence et le nombre d'enfant. De fait, pour avoir au moins 3 personnes dans la famille, nous avons retenu les familles avec couple ayant au moins un enfant et les familles mono-parentales avec au moins 2 enfants.

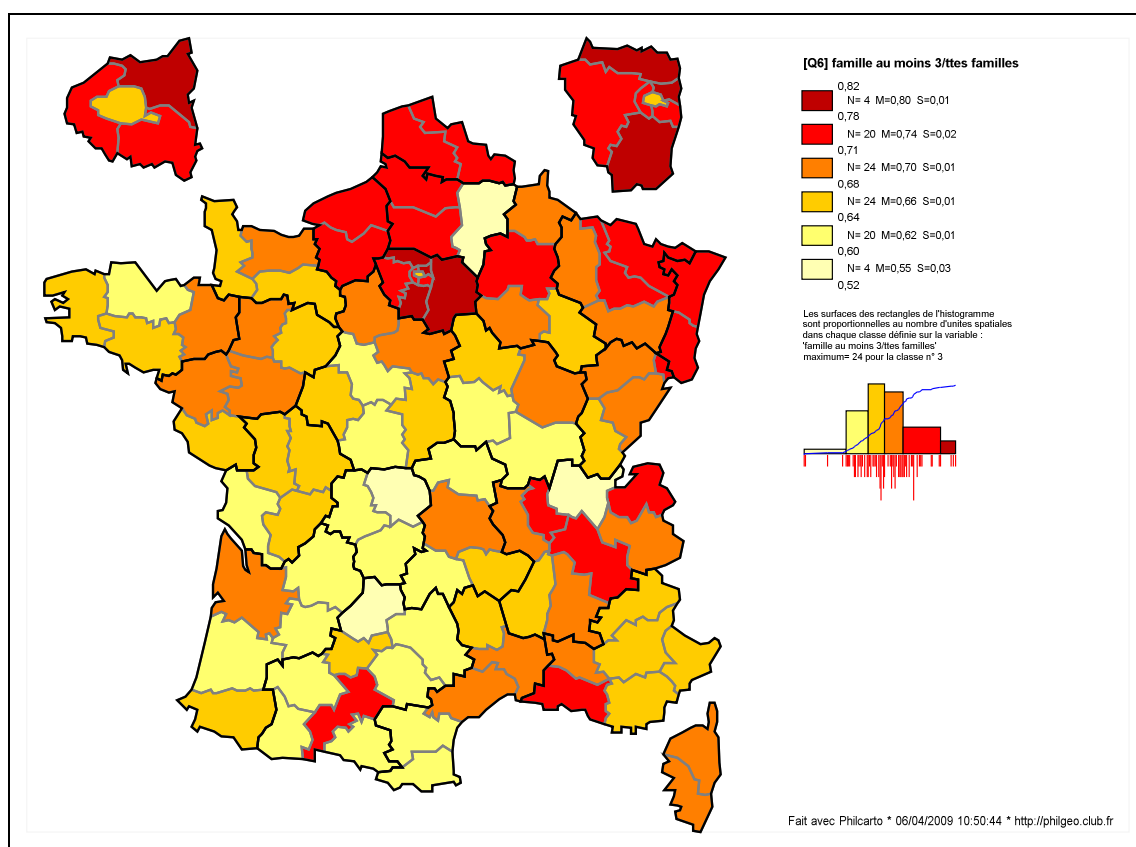


Fig. n°90 : Les familles d'au moins trois personnes en France

Les données départementales sont ensuite rapportées au nombre total de famille (tous types confondus) du département. La promiscuité dans le cocon familial constitue un facteur aggravant de la vulnérabilité. La figure n°90 présente la répartition géographique des familles constituées de plus de trois personnes. Ces familles « nombreuses » concernent d'abord un grand tiers nord-est de la France avec des valeurs remarquables en Ile-de-France, en Alsace ou dans le Nord-Pas-de-Calais. Le couloir rhodanien présente également de forts taux de familles de plus de trois personnes.

- **La part de la population active ayant un emploi** (INSEE 1999). La stricte définition de la population active au sens de l'Insee comprend les personnes qui déclarent : exercer une profession (salarisée ou non) même à temps partiel ; aider un membre de la famille dans son travail (même sans rémunération) ; être apprenti, stagiaire rémunéré ... ; être militaire du contingent (tant que cette situation existait) ; être chômeur à la recherche d'un emploi.

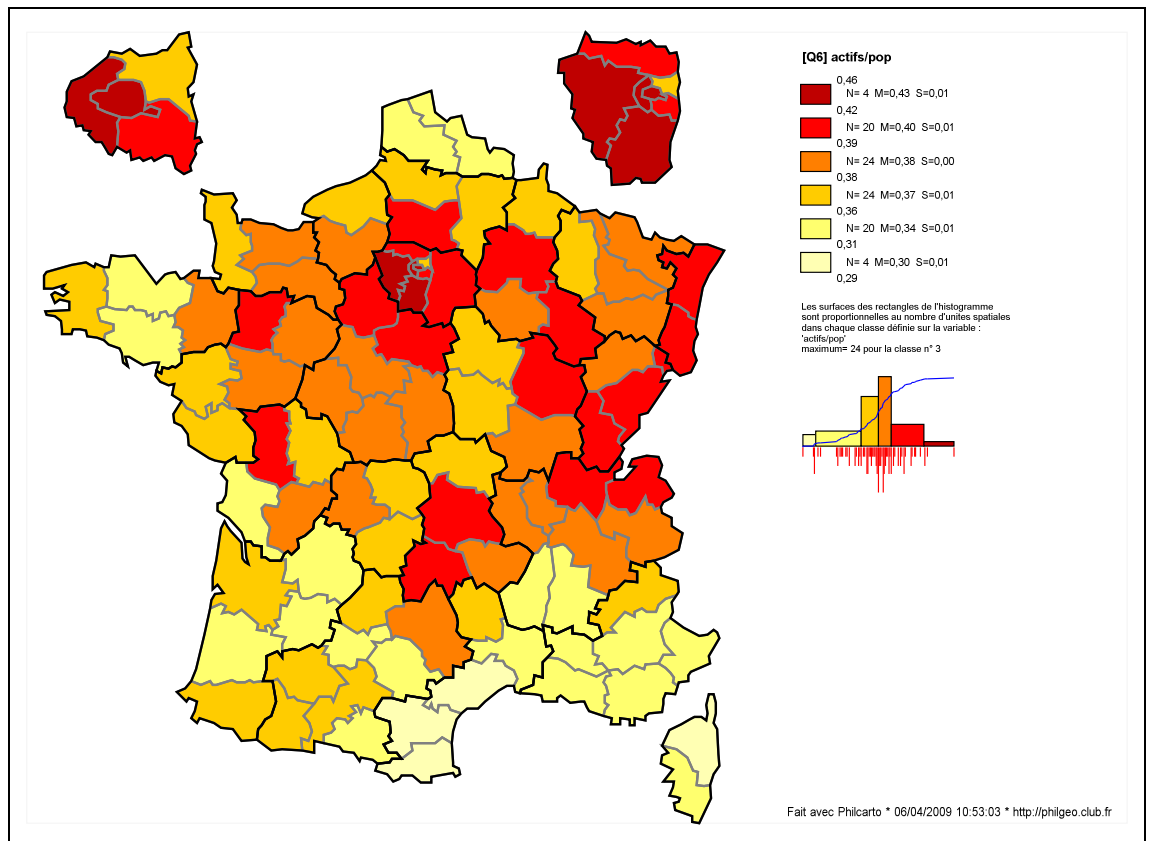


Fig. n°91 : La population active ayant un emploi en France

C'est précisément là que se situe le problème dans ce cadre d'étude. Nous faisons l'hypothèse d'une moindre mobilité des personnes au chômage : absence de déplacement pour ce rendre sur le lieu de travail et, de facto, diminution de la probabilité de rencontre de sujets infectés. Ainsi, c'est précisément la population active ayant un emploi qui nous intéresse ici. Elle nous permet de situer les échanges potentiels de virus sur les lieux de travail ou dans les transports lors des mouvements pendulaires. Après avoir obtenu ces données par département, nous les ramenons à la population totale. Les régions aux plus forts taux de populations

actives sont : l'Ile-de-France, l'Alsace, la Franche-Comté, Rhône-Alpes, l'Auvergne et le Centre. A l'inverse, l'ensemble du pourtour méditerranéen est crédité de taux assez faibles en relation, peut-être, avec l'importante part de la population retraitée (Fig. n°91 p.251).

- Par contre, certains facteurs peuvent atténuer la vulnérabilité de certains groupes d'individus.
 - **La part des plus de 60 ans.** En principe, l'avancement dans les âges de la vie correspond à un affaiblissement progressif de l'organisme qui devient moins enclin à se défendre face aux agressions extérieures. Logiquement, nous aurions du conclure que les tranches d'âge supérieures à 60 ans connaissent les plus forts taux d'incidence. Si c'est le cas pour le taux de mortalité (une grippe déclarée chez un individu affaibli aboutit plus facilement vers une issue fatale), le taux d'incidence y sont parmi les plus faibles.

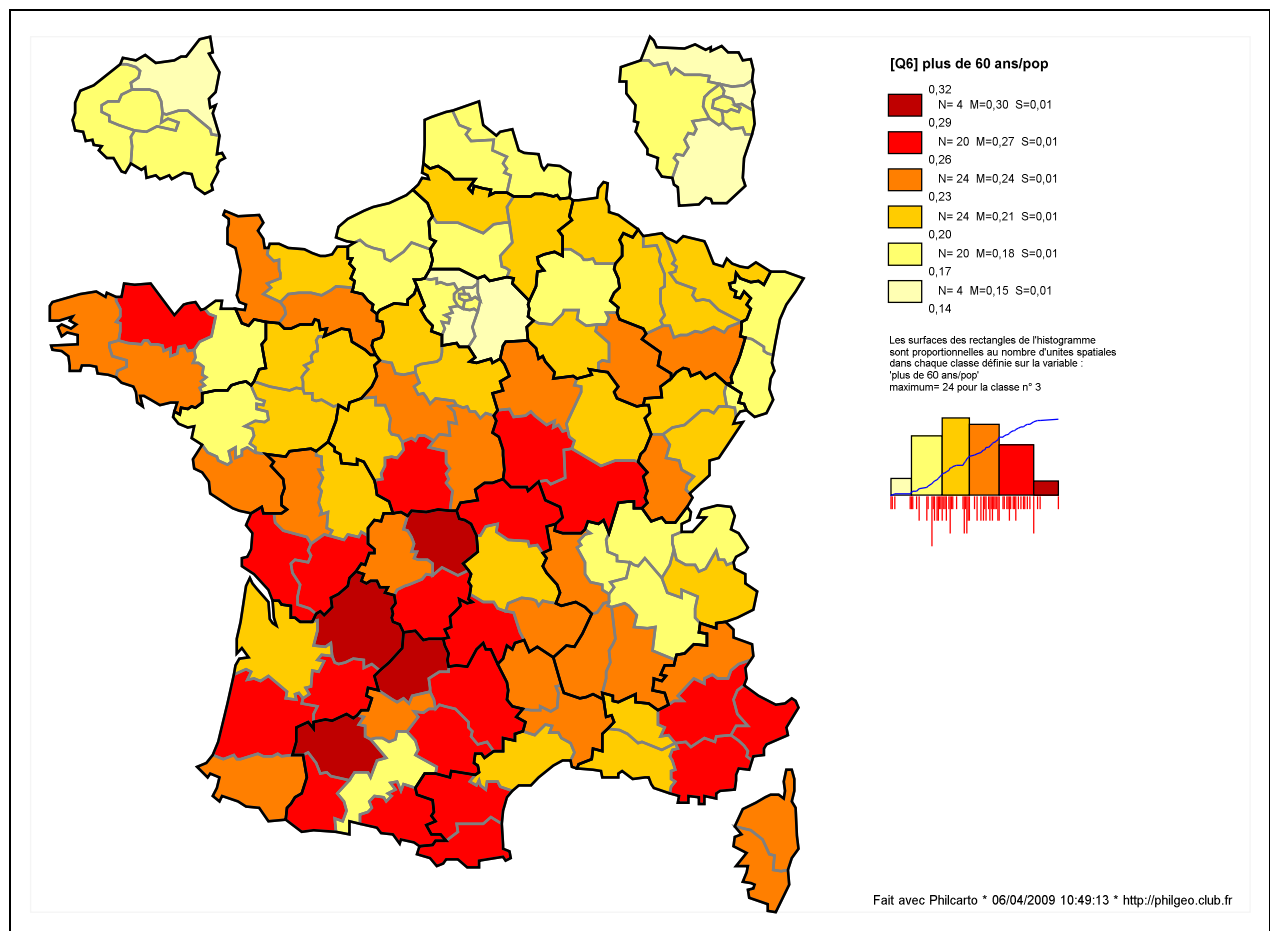


Fig. n°92 : Les plus de 60 ans en France

Les personnes âgées ont généralement moins de contacts sociaux. De plus, elles ont été exposées à de nombreux virus grippaux dans le passé et sont donc, en partie, immunisées contre certaines souches.

Notons enfin qu'en France, le vaccin est gratuit pour les plus de 65 ans et que le taux de couverture vaccinale pour cette tranche d'âge atteignait 63% (2005-2006) tandis que les pouvoirs publics ambitionnaient de faire passer ce taux à 75% sous 3 ans. Ce facteur contribue donc à la diminution de la vulnérabilité de ce groupe d'âge face à la grippe. Ainsi, du point de vue strict des données, nous avons collecté les effectifs de populations des plus de 60 ans par départements. Les effectifs par régions ont été ramenés à la population totale. La figure n°92 p.252 montre la répartition géographique des plus de 60 ans en France métropolitaine. Il existe un net clivage nord-sud entre une France du nord plutôt jeune et une France du sud plus âgée. Le quart sud-ouest de la France est particulièrement caractérisée par une des populations vieillissantes : l'Aquitaine, le Limousin ou Midi-Pyrénées sont les régions aux populations les plus âgées. C'est également le cas mais dans une moindre mesure des régions côtières méditerranéennes, de la Bourgogne, du Centre et de la pointe bretonne.

- **L'équipement d'au moins 2 voitures** (INSEE 1999). L'intitulé exact de la donnée est la suivante : pourcentage des résidences principales équipées de deux voitures. En effet posséder deux voitures est d'abord le reflet d'un besoin de se déplacer (pour se rendre au travail, pour amener les enfants à l'école etc. ...). La présence de deux véhicules traduit la nécessité de chaque parent (nous sommes ainsi dans le cadre de la famille avec couple qui est encore majoritaire) de pouvoir se déplacer de manière autonome. Cela traduit la carence d'un territoire en transports en commun (dès lors que ce pourcentage est élevé) et donc la baisse de vulnérabilité faute de promiscuité dans un car, un bus ou un train. La figure n°93 p.254 montre les pourcentages de résidences principales équipées de deux véhicules. Les régions les plus rurales, les moins bien desservies en transports en commun sont les plus équipées en automobiles. C'est le cas de la plupart des régions jouxtant le Massif Central, des départements ruraux de l'extrême sud-ouest ou des confins du bassin parisien. A ce titre, on peut noter l'équipement

automobile relativement élevé de l'Essonne, de la Seine et Marne, des Yvelines et du Val d'Oise. On peut imaginer que pour ces départements où l'habitat pavillonnaire est très important et où le tissu urbain est un peu plus lâche, les navettes pendulaires sont plus multimodales qu'à l'intérieur de l'agglomération parisienne ou dans la petite couronne. Les travailleurs se rendent à la gare RER ou Transilien en voiture pour ensuite emprunter un mode de transport collectif. Il conviendra ainsi de relativiser la baisse de vulnérabilité dans ces départements.

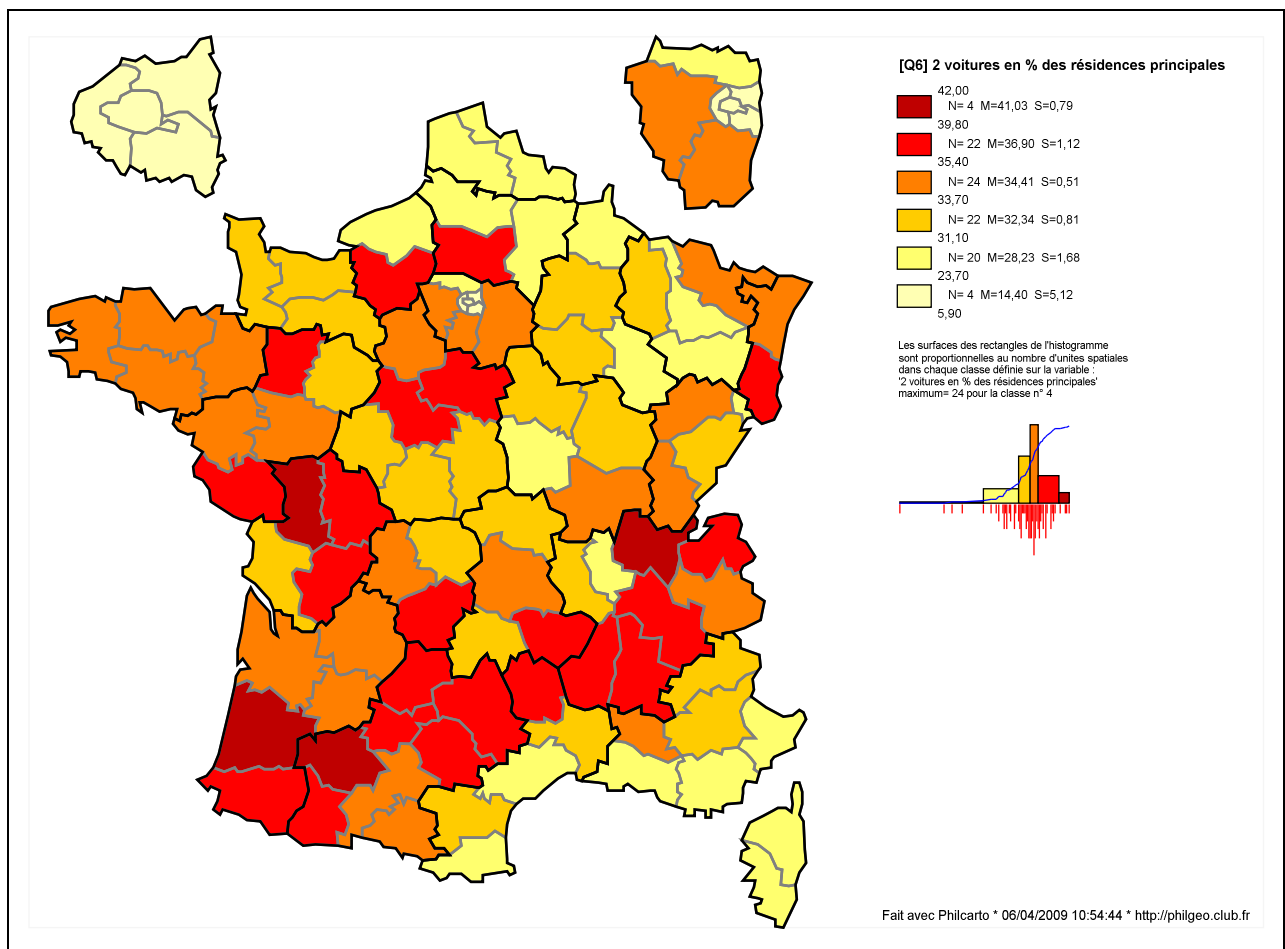


Fig. n°93 : Pourcentage des résidences principales équipées de deux voitures en France

- **Le nombre de « RMIstes »** (caisse nationale d'assurance maladie 2006). Il s'agit du nombre d'allocataire du RMI au 01/01/06 pour 1000 habitants par régions. L'hypothèse de travail n'est pas d'avancer, comme on le penserait logiquement, un lien entre la privation et la vulnérabilité à la grippe. Les allocataires du RMI ont, du fait de leur situation, moins de contacts sociaux en cours de journée et sont moins exposés à la grippe. Un fort pourcentage d'allocataire du RMI sur un

territoire donné peut diminuer les taux d'incidence. Il sera nécessaire de s'interroger par la suite sur la redondance de ce variable avec les données de population active ayant un emploi : n'aboutit-t-on pas à l'inverse de la population ayant un emploi ?

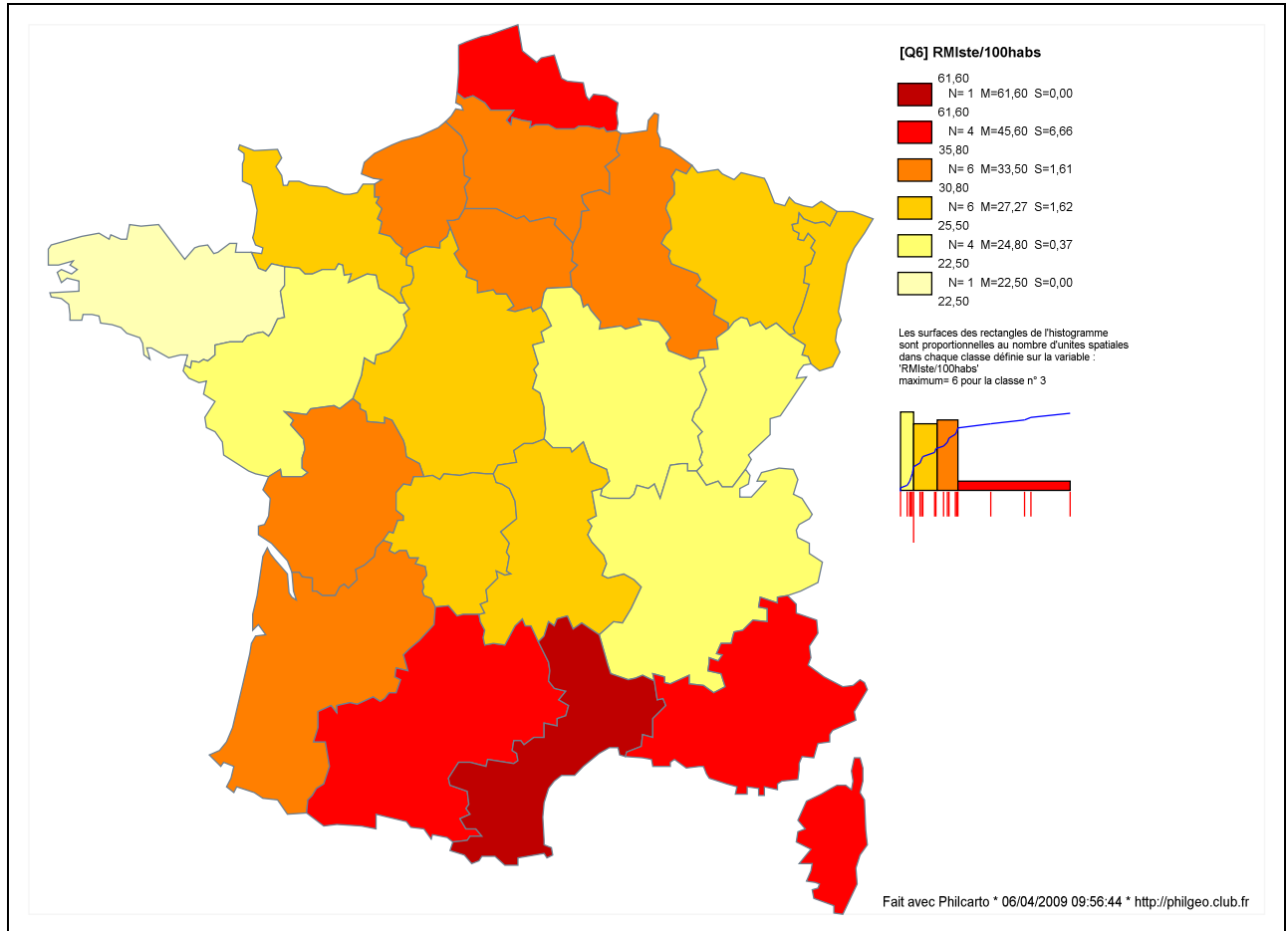


Fig. n°94 : Nombre d'allocataires du RMI pour 1 000 habitants en France à l'échelle régionale

On observe sur la figure n°94 les nombres d'allocataires du RMI pour 1 000 habitants et par régions. Le sud de la France est caractérisé par des taux élevés de d'allocataires : le Languedoc-Roussillon d'abord ; PACA, Midi-Pyrénées et l'Aquitaine dans de moindres mesures. A l'autre extrémité de la France, le Nord-Pas-de-Calais connaît lui-aussi des taux élevés (conséquence des difficultés du secteur industriel ?), tout comme la région Champagne-Ardenne, la Picardie, la Haute-Normandie et l'Ile-de-France. Hormis pour le cas de l'Ile-de-France, il s'agit de régions peuplées où en dépit d'un ou deux pôles urbains, les possibilités en termes d'emploi sont limitées ou de régions

jadis dynamiques du point de vue de l'emploi mais qui connaissent désormais des difficultés.

La finalité sera d'opérer (nous le verrons plus tard) une classification des territoires en fonction de cette vulnérabilité liée aux caractéristiques sociales, économiques et démographiques de la moyenne des individus. Cette classification serait ensuite intégrée au sein du modèle explicatif de l'incidence que nous souhaitons réaliser.

2 - 4 Synthétiser puis cartographier la vulnérabilité

Après un léger traitement statistiques des données précédemment présentées et en ne retenant que les facteurs sensés augmenter la vulnérabilité, il devient alors possible de la cartographier.

- La vulnérabilité structurelle

On rappelle ici que la vulnérabilité dite structurelle est en fait celle liée aux activités, aux particularités économiques et aux facteurs migratoires des territoires régionaux. Les indices de vulnérabilités ont été construits à la manière des scores de déprivation de Carstairs et Morris (1989). Il s'agit de cumuler les écarts centrés réduits de chacun des facteurs incriminés.

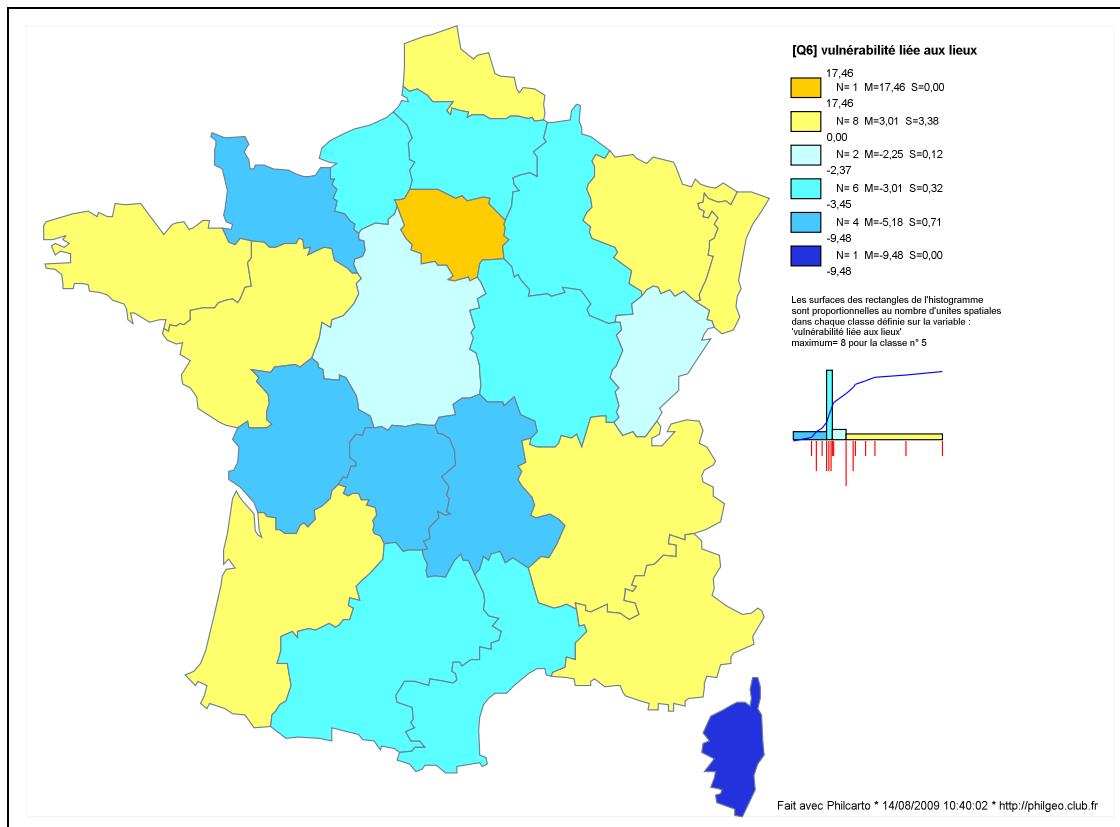


Fig. n°95 : Synthèse cartographique des facteurs de vulnérabilité structurelle

Le cumul réalisé aboutit à la création d'un indice qui peut être cartographié. En discrétisant ces indices régionaux par la méthode des bornes de classes (min/max et les quatre quartiles), on aboutit à la carte suivante (Fig. n°95 p.256). Finalement deux groupes apparaissent nettement à la lecture de la carte : des régions aux vulnérabilités structurelles élevées et d'autres nettement plus faibles. Dans les faits, l'Ile-de-France fait figure d'exception et semble cumuler les facteurs de vulnérabilité : elle représente une classe à elle toute-seule. Néanmoins, huit autres régions sont caractérisées par un indice de vulnérabilité structurelle élevé : PACA, Rhône-Alpes, Aquitaine, Alsace, Lorraine, Pays de la Loire, Nord-Pas-de-Calais et Bretagne. A l'inverse, l'Auvergne, le Limousin, Poitou-Charentes, la Basse Normandie et surtout la Corse proposent des scores faibles. On peut résumer cette information finalement en observant d'une part une France attractive, dynamique, peuplée et dense face à une France plus rurale à l'abri des mouvements importants de population augmentant la vulnérabilité.

| Matrice de corrélation (Pearson) : | | |
|--|--------------|---------------|
| Variables | lieu | ecr_incidence |
| lieu | 1 | 0,465 |
| ecr_incidence | 0,465 | 1 |
| <i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i> | | |
| p-values : | | |
| Variables | lieu | ecr_incidence |
| lieu | 0 | 0,029 |
| ecr_incidence | 0,029 | 0 |
| <i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i> | | |
| Coefficients de détermination (R ²) : | | |
| Variables | lieu | ecr_incidence |
| lieu | 1 | 0,216 |
| ecr_incidence | 0,216 | 1 |

Fig. n°96 : Corrélation incidence/indice de vulnérabilité liée aux lieux

Afin de voir si cet indice est porteur d'une information explicative des taux d'incidence observés en région, nous calculons alors le coefficient de corrélation entre le taux d'incidence

régional moyen (proposé sous la forme d'un écart centré réduit) et l'indice de vulnérabilité structurelle. La corrélation est peu significative en l'état : coeff = 0,216 (p=0,029). Non pas que l'indice « vulnérabilité structurelle » soit peu informatif et peu explicatif du taux d'incidence mais il doit peut-être être complété par une un autre type d'information (Fig. n°96 p.257).

- La vulnérabilité liée aux individus

En reprenant le même protocole évoqué en début de paragraphe précédent, nous réalisons cette fois-ci un indice de vulnérabilité liée aux individus à l'échelle régionale. Nous n'incluons pas les facteurs détaillés avant sensés diminuer cette vulnérabilité. Le cumul de ces facteurs (écarts centrés réduits) aboutit à la création d'un indice de vulnérabilité liée aux individus.

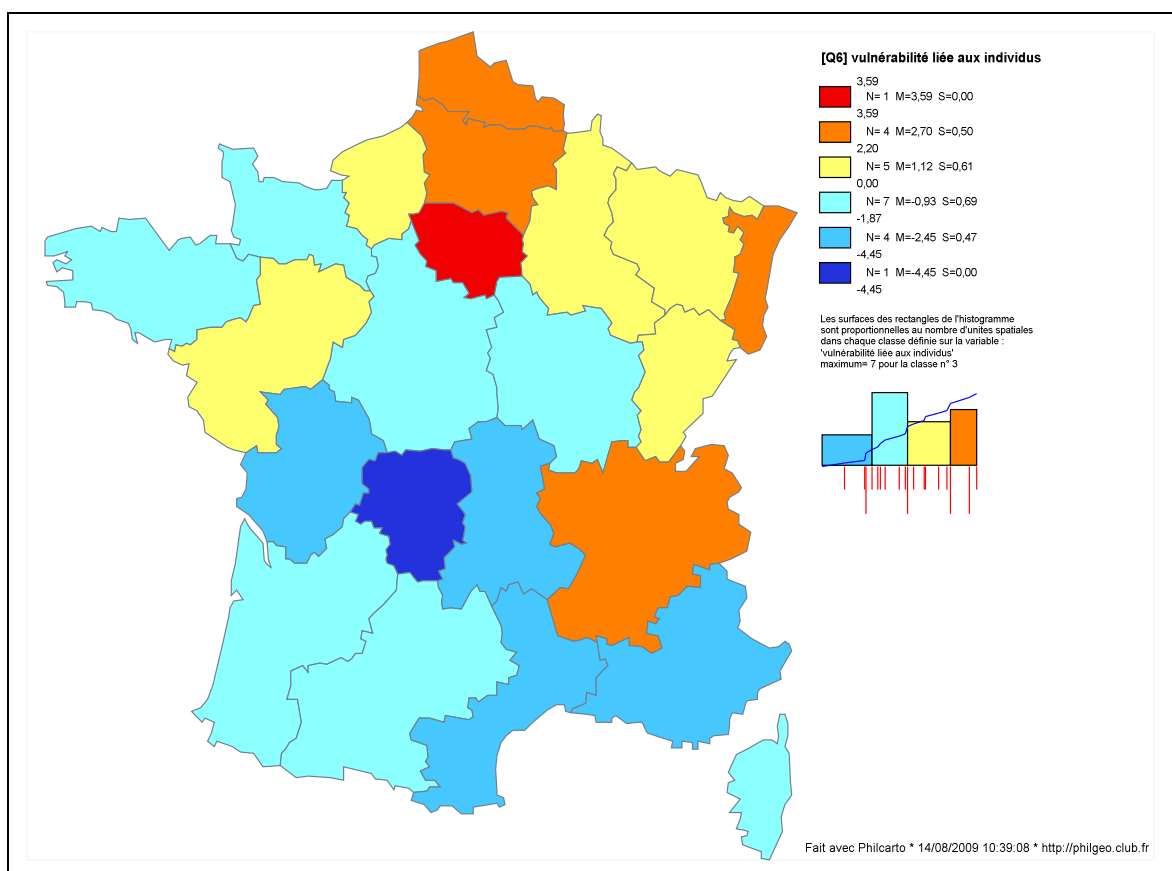


Fig. n°97 : Synthèse cartographique des facteurs de vulnérabilité individuelle

En reprenant la même méthode de discrétisation appliquée à ce nouvel indice, nous aboutissons à la carte présentée dans la figure n°97 p.258. L'Ile-de-France, une nouvelle fois, cumule les facteurs aggravant la vulnérabilité. D'autres régions, dont la vulnérabilité structurelle n'était pas mise en avant, semblent cette fois-ci intéressées par ce type de vulnérabilité. C'est le cas notamment de la Picardie. En revanche Rhône-Alpes, l'Alsace ou le Nord-Pas-de-Calais connaissent encore également un indice de vulnérabilité élevé. Alors qu'elle connaissait une vulnérabilité structurelle plutôt élevée, la région PACA n'est cette fois pas caractérisée par une vulnérabilité liée aux individus forte. Par contre, Limousin, Auvergne ou Poitou-Charentes semblent encore protégés de la grippe eu égard aux caractéristiques des individus peuplant ces régions.

| Matrice de corrélation (Pearson) : | | |
|--|----------|---------------|
| Variables | indiv | ecr_incidence |
| indiv | 1 | 0,161 |
| ecr_incidence | 0,161 | 1 |
| <i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i> | | |
| p-values : | | |
| Variables | indiv | ecr_incidence |
| indiv | 0 | 0,474 |
| ecr_incidence | 0,474 | 0 |
| <i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i> | | |
| Coefficients de détermination (R ²) : | | |
| Variables | indiv | ecr_incidence |
| indiv | 1 | 0,026 |
| ecr_incidence | 0,026 | 1 |

Fig. n°98 : Corrélacion incidence/indice de vulnérabilité liée aux individus

Une nouvelle fois, nous souhaitons voir si la vulnérabilité individuelle seule pourrait être explicative du taux d'incidence (en écart centré réduit). De fait, nous calculons le coefficient de corrélation entre l'indice de vulnérabilité liée aux individus et le taux moyen d'incidence grippal régional. Une nouvelle fois, celle-ci s'avère très peu significative : coeff = 0,161 (p=0,474). Il semble évident que la seule vulnérabilité liée aux individus ne peut expliquer les valeurs régionales du taux d'incidence grippal.

- Essai de synthèse des vulnérabilités

Afin de synthétiser les deux types de vulnérabilités derrière un indicateur unique, nous cumulons les scores précédemment calculés afin de n'obtenir par région qu'un seul et unique indice. Cet indice est alors cartographié (Fig. n°99) et présente la vulnérabilité à la grippe sur la base de l'ensemble des facteurs tant structurels que liés aux caractéristiques individuelles régionales.

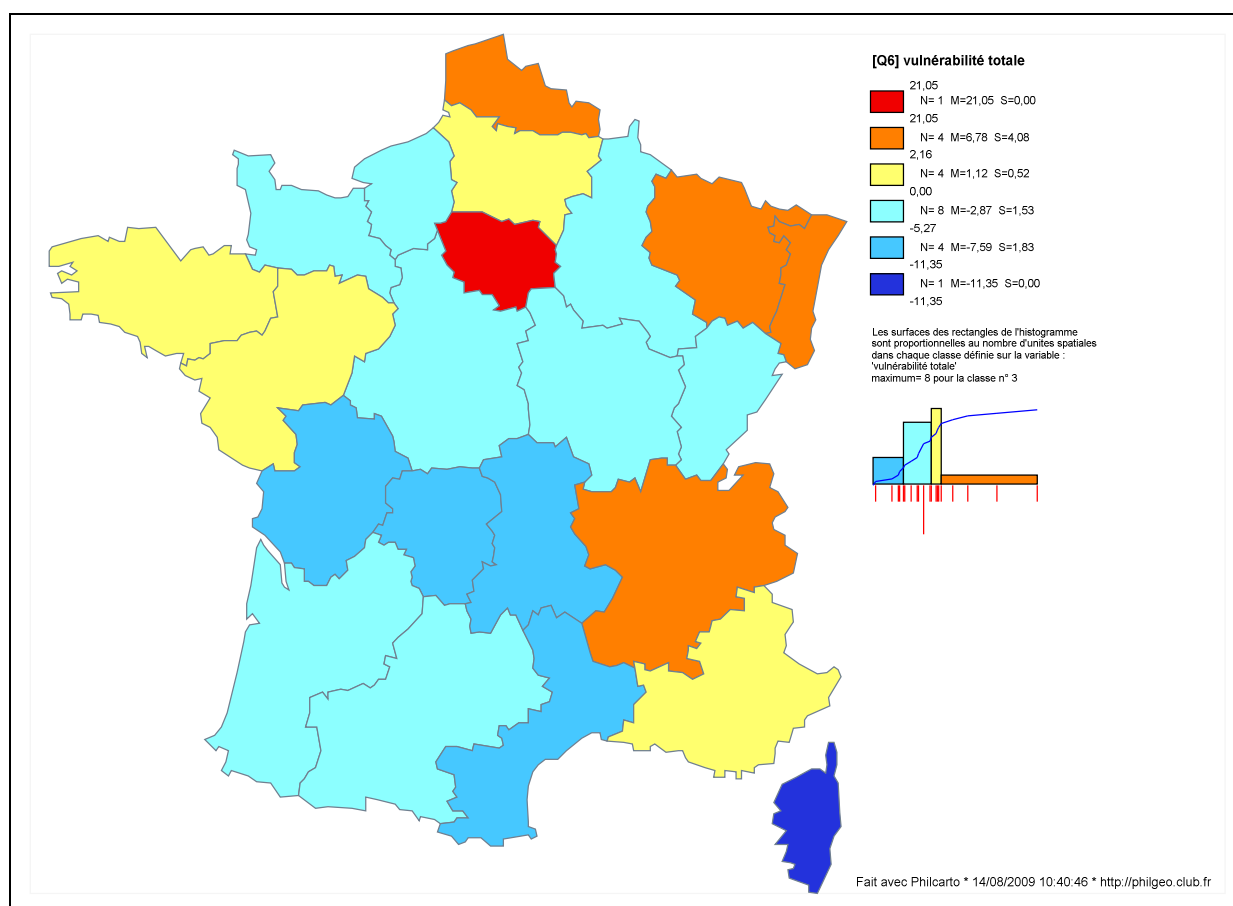


Fig. n°99 : Synthèse cartographique de l'ensemble des facteurs de vulnérabilité

Cette carte démontre une nouvelle fois le particularisme de la région Ile-de-France représentant une seule classe de vulnérabilité globale.

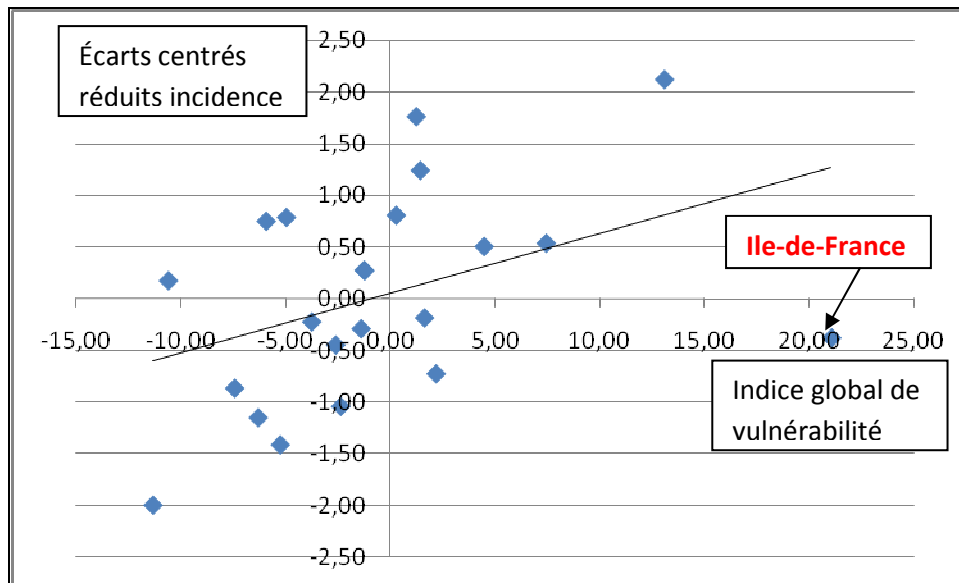


Fig. n°100 : Nuage de point « incidence-vulnérabilité »

Sans surprise, du fait de l'analyse préliminaire de chaque type de vulnérabilité, d'autres régions sont caractérisées par un indice global de vulnérabilité élevé : le Nord-Pas-de-Calais, la Lorraine, l'Alsace et Rhône-Alpes ; et dans une moindre mesure : la Picardie, PACA, Pays de la Loire et la Bretagne. A l'opposé, la Corse, le Languedoc-Roussillon, l'Auvergne, le Limousin et la région Poitou-Charentes ont des niveaux de vulnérabilité faibles et devraient être moins exposés à la grippe.

Analysons désormais le niveau de corrélation entre cet indice global de vulnérabilité et les taux d'incidences moyens régionaux. Nous proposons en premier lieu une représentation du nuage de point mettant en avant la distance de la région Ile-de-France par rapport au reste de la série (Fig. n°100). L'écart type de la série « vulnérabilité globale » est de 7,08 alors que le score de vulnérabilité totale de l'Ile-de-France est supérieur à 21 (21,05). Celle-ci est donc distante de la série d'environ 3 écarts types ce qui explique son positionnement sur le nuage de point et nous engage à calculer deux coefficients de corrélations distincts : une relation incidence-vulnérabilité avec et sans l'Ile-de-France.

| Matrice de corrélation (Pearson) : | | |
|--|----------|---------------|
| Variables | somme | ecr_incidence |
| vulné_totale | 1 | 0,418 |
| ecr_incidence | 0,418 | 1 |
| <i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i> | | |
| p-values : | | |
| Variables | somme | ecr_incidence |
| vulné_totale | 0 | 0,053 |
| ecr_incidence | 0,053 | 0 |
| <i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i> | | |
| Coefficients de détermination (R ²) : | | |
| Variables | somme | ecr_incidence |
| vulné_totale | 1 | 0,175 |
| ecr_incidence | 0,175 | 1 |

Fig. n°101 : Corrélation incidence-vulnérabilité (avec Ile-de-France)

Le premier calcul de coefficient de corrélation entre l'indicateur global de vulnérabilité et les taux moyens d'incidence régionaux montre une relation qui devient, certes faiblement, significative : coeff = 0,418(p=0,053) (Fig. n°101). Ceci nous engage peu à peu à concevoir que la vulnérabilité globale (structurelle et individuelle) pourrait intervenir dans les niveaux d'incidences régionaux moyens disparates.

| Matrice de corrélation (Pearson) : | | |
|--|--------------|---------------|
| Variables | somme | ecr_incidence |
| vulné_totale | 1 | 0,630 |
| ecr_incidence | 0,630 | 1 |
| <i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i> | | |
| p-values : | | |
| Variables | somme | ecr_incidence |
| vulné_totale | 0 | 0,002 |
| ecr_incidence | 0,002 | 0 |
| <i>Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05</i> | | |
| Coefficients de détermination (R ²) : | | |
| Variables | somme | ecr_incidence |
| vulné_totale | 1 | 0,396 |
| ecr_incidence | 0,396 | 1 |

Fig. n°102 : Corrélation incidence-vulnérabilité (sans Ile-de-France)

Sans l'Ile-de-France, la relation devient réellement significative : $\text{coeff} = 0,63(p=0,002)$. Ce résultat nous pousse à imaginer qu'un modèle explicatif des disparités de l'incidence grippale moyenne régionale peut être envisagé (Fig. n°102 p.262). Il conviendra néanmoins d'observer un certain nombre de précautions. Comme énoncé auparavant, nombre de données sont probablement redondantes. En outre, certaines dans leur conception ne sont probablement pas assez robustes pour être intégrées dans un modèle. Il serait nécessaire de discuter de ces points. Enfin, le cas de l'Ile-de-France mérite une attention particulière de notre part en opérant peut-être, sur cette région, un changement d'échelle dans le but de lever le voile sur ce particularisme.

2 – 4 Doit-on tout conserver ?

Un certain nombre d'éléments nous poussent d'ores et déjà à envisager une réduction du nombre de facteurs. Il est évident que l'analyse de la matrice de corrélation qui sera faite par la suite démontrera des informations redondantes portées par plusieurs facteurs.

Tab n°17 : Des variables structurelles corrélées avec la densité ?

| nombre de lits d'hôpitaux | enseignement sup | grandes surfaces | grandes entreprises |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Corse | Corse | Corse | Corse |
| Limousin | Limousin | Limousin | Languedoc-Roussillon |
| Franche-Comté | Franche-Comté | Auvergne | PACA |
| Auvergne | Basse-Normandie | Franche-Comté | Aquitaine |
| Poitou-Charentes | Champagne-Ardenne | Champagne-Ardenne | Midi-Pyrénées |
| Champagne-Ardenne | Picardie | Basse-Normandie | Auvergne |
| Haute-Normandie | Bourgogne | Poitou-Charentes | Poitou-Charentes |
| Basse-Normandie | Auvergne | Haute-Normandie | Limousin |
| Picardie | Poitou-Charentes | Alsace | Rhône-Alpes |
| Bourgogne | Haute-Normandie | Bourgogne | Basse-Normandie |
| Alsace | Centre | Picardie | Franche-Comté |
| Centre | Alsace | Languedoc-Roussillon | Bretagne |
| Languedoc-Roussillon | Lorraine | Centre | Bourgogne |
| Midi-Pyrénées | Languedoc-Roussillon | Midi-Pyrénées | Île-de-France |
| Lorraine | Aquitaine | Lorraine | Lorraine |
| Pays de la Loire | Pays de la Loire | Aquitaine | Alsace |
| Bretagne | Bretagne | Pays de la Loire | Centre |
| Aquitaine | Midi-Pyrénées | Bretagne | Pays de la Loire |
| Nord - Pas-de-Calais | PACA | PACA | Champagne-Ardenne |
| PACA | Nord - Pas-de-Calais | Nord - Pas-de-Calais | Haute-Normandie |
| Rhône-Alpes | Rhône-Alpes | Rhône-Alpes | Picardie |
| Île-de-France | Île-de-France | Île-de-France | Nord - Pas-de-Calais |

A titre d'exemple, si l'on opère un classement des variables « nombre de lits d'hôpitaux », « enseignement supérieur », « grandes surfaces alimentaires » et « grandes entreprises » au sein d'un tableau et que, dans le même temps, on indique en rouge les six régions les plus denses : il apparaît que la densité doit être corrélée avec certaines de ces variables (Tab. n°17 p.263). Les régions les mieux pourvues en lits d'hôpitaux, connaissant les plus grands nombres d'inscrits dans l'enseignement supérieur ainsi qu'ayant le plus de grandes surfaces alimentaires correspondraient aux régions les plus denses à savoir : Nord-Pas-de-Calais, PACA, Rhône-Alpes et Ile-de-France. Il est probable, mais ceci nécessitera une analyse fine sur les jeux de données, que l'ensemble de ces facteurs ne sera pas conservé en l'état. Ainsi, nous allons intégrer dans un premier temps l'ensemble de ces facteurs dans le cadre d'un modèle explicatif afin de savoir si ces mêmes facteurs expliquent les différences de taux d'incidence grippale observés sur le territoire métropolitain et ce, à l'échelle régionale.

Conclusion partielle

Nous avons proposé ici une évaluation des facteurs de vulnérabilité jugés intervenir dans l'augmentation du risque de contraction/transmission du virus grippal. Chacun de ces facteurs, afin d'avoir une idée de leur hétérogénéité, a été cartographié. Nous aboutissons à la création d'un indice de vulnérabilité global basé sur la somme de deux indices « structurels » et « individuels » construits à la manière de score de déprivation : somme des écarts centrés réduits de chaque facteur. Cet indice est finalement cartographié et propose une vision de la vulnérabilité à la grippe basé sur des facteurs socio-éco-démographiques. L'intégration de facteurs liés à l'augmentation de la vulnérabilité liée à la stimulation de l'aléa par le milieu physique sera essentielle dans le but d'une analyse complète du risque.

Le temps suivant sera consacré à l'évaluation de ces facteurs : est-ce que ceux-ci peuvent expliquer l'hétérogénéité de l'incidence grippale régionale moyenne ?

II - Vers un modèle explicatif de l'incidence grippale

Il est nécessaire à présent de s'interroger sur une méthode adéquate pour essayer de modéliser le taux d'incidence grippal régional à l'aide des variables potentiellement explicatives que nous avons envisagées.

1- Une analyse de covariance insatisfaisante

1-1 Pourquoi une ANCOVA ?

La régression linéaire (ou régression multiple) est le modèle de prédiction le plus ancien et le plus populaire. Il se situe directement dans le cadre théorique du modèle linéaire, lorsque la variable à expliquer est une variable continue (ou numérique) (Lebart et. al 2006). Dans le cas où les variables explicatives sont de nature mixte, on parle d'analyse de covariance.

C'est précisément le cas dans le cadre de cette analyse où les variables explicatives sont de deux natures : qualitatives et quantitatives. De plus, la volonté d'explication du phénomène prévaut dans ce cadre plus qu'une véritable logique prédictive, bien que celle-ci constitue tout de même un point important.

Pour Silk (1987), l'analyse de la covariance permet de joindre les caractéristiques de l'analyse de la variance et de l'analyse de la régression. Classiquement, l'analyse de la variance concerne l'estimation et la comparaison des valeurs moyennes de différentes variables répondant à diverses conditions. L'analyse de la régression va s'intéresser à la relation entre des variables dépendantes et indépendantes. Conventionnellement, on considère que les variables, qu'elles soient dépendantes ou non, sont mesurables sur une échelle (*ratio-scale*). Une technique telle que l'analyse de la covariance s'intéresse à une variable dépendante située sur un intervalle et un panel de variables explicatives tant qualitatives que quantitatives.

Plus précisément, l'analyse de variance (ici à un facteur) précise la relation entre Y (variable quantitative continue) et X, variable catégorielle (exprimé en classes peu nombreuses), les deux variables étant connues individu par individu. L'analyse de variance permet alors de répondre à la question suivante : « jusqu'à quel degré, les valeurs de Y s'ordonnent-elles en fonction des modalités de X ? ». Régression et corrélation linéaires sont, elles, adaptées à l'étude de la relation statistique entre deux variables quantitatives continues, généralement connues par individus. Les deux variables Y et X sont ici « quantitatives continues », on peut

alors représenter chaque individu par un point sur un graphique cartésien. L'ensemble des individus forme à terme un nuage de point. Plus ce nuage est « aligné » le long d'une courbe, plus forte est la relation X-Y (Dumolard, 2006).

1-2 Quels résultats pour l'ANCOVA ?

Ainsi, nous avons appliqué la méthode de l'analyse de covariance à nos jeux de données relatives à la vulnérabilité liée aux lieux. Ces facteurs de vulnérabilité sont composés de variables quantitatives dont le tableau n°18 présente les statistiques simples.

Tab. n°18 : Statistiques descriptives des variables quantitatives de l'analyse de covariance.

| Statistiques simples | | | | | | | |
|----------------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
| M_incid | 22 | 0 | 22 | 0,520 | 1,340 | 0,924 | 0,204 |
| solde touristique/pop | 22 | 0 | 22 | -0,013 | 0,042 | 0,007 | 0,012 |
| nbre lits hôpitaux/pop | 22 | 0 | 22 | 0,003 | 0,005 | 0,004 | 0,000 |
| grandes entreprises | 22 | 0 | 22 | 0,383 | 1,262 | 0,845 | 0,223 |
| enseignement sup/20-24 ans | 22 | 0 | 22 | 0,328 | 0,728 | 0,513 | 0,099 |
| gdes surfaces/pop | 22 | 0 | 22 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| nœud ferro | 22 | 0 | 22 | 0,000 | 13,000 | 4,636 | 3,079 |
| densité | 22 | 0 | 22 | 32,144 | 956,605 | 140,738 | 193,924 |
| RMlste/100habs | 22 | 0 | 22 | 22,500 | 61,600 | 33,195 | 10,327 |

Ce tableau de présentation représente les statistiques élémentaires relatives au tableau de données initial. Il y a, *de facto*, 22 observations correspondant aux 22 régions. Il n'y pas d'observations possédant des données manquantes. Sont présentés pour chaque variable, moyennes, minima et maxima ainsi que l'écart type. Ce premier tableau ne présente que les variables quantitatives. Un second tableau (Tab. n°19) représente les variables qualitatives ainsi que les diverses modalités de chacune. Les modalités ont d'ors et déjà été présentées lors de la description préalable des variables.

Tab. n°19 : Présentation des modalités des variables qualitatives intégrées dans l'analyse de covariance

| Variable | Modalités | Effectifs | % |
|-------------------------|-----------|-----------|--------|
| aéro trafic discrétisé | 4 | 5 | 22,727 |
| | 3 | 6 | 27,273 |
| | 2 | 6 | 27,273 |
| | 1 | 5 | 22,727 |
| aéro schengen | 1 | 6 | 27,273 |
| | 0 | 16 | 72,727 |
| migrations frontalières | 6 | 2 | 9,091 |
| | 1 | 3 | 13,636 |
| | 0 | 12 | 54,545 |
| | 4 | 1 | 4,545 |
| | 5 | 1 | 4,545 |
| | 2 | 2 | 9,091 |
| | 3 | 1 | 4,545 |

Ce n'est qu'après la présentation de ces statistiques descriptives qu'intervient l'analyse du modèle. Le premier tableau de résultats fournit les coefficients d'ajustement du modèle. Le R² (coefficient de détermination) donne une idée du pourcentage de variabilité de la variable à modéliser, ici la moyenne du taux d'incidence grippale par régions, expliquée par les facteurs de vulnérabilité individuels et structurels. Plus ce coefficient est proche de 1, meilleur est le modèle. Un artefact peut malgré tout se produire lorsque l'analyse porte sur un nombre de

variable trop élevé et conduit à une maximisation du R^2 . Il convient alors d'interpréter le R^2 ajusté qui est une correction du R^2 permettant de prendre en compte le nombre de variables utilisées dans le modèle.

Tab. n°20 : Statistiques relatives à l'ajustement du modèle de régression

| Coefficients d'ajustement : | |
|-----------------------------|---------|
| Observations | 22,000 |
| Somme des poids | 22,000 |
| DDL | 3,000 |
| R^2 | 0,902 |
| R^2 ajusté | 0,312 |
| MCE | 0,029 |
| RMCE | 0,169 |
| MAPE | 4,740 |
| DW | 2,980 |
| Cp | 19,000 |
| AIC | -84,070 |
| SBC | -63,340 |
| PC | 1,344 |

Dans notre cas (Tab. n°20), il semblerait qu'un effet du au grand nombre de variables intervienne. En effet, une différence si élevée entre le R^2 ($R^2 = 0,902$) et le R^2 ajusté (R^2 ajusté = 0,312) oblige à repenser la pertinence du R^2 et pousse à ne se concentrer que sur le R^2 ajusté. Ainsi, il semblerait que seuls environ 30% de la variabilité est expliquée par les facteurs de vulnérabilité liés aux lieux. Le reste de la variabilité est dû à des effets (autres variables explicatives) qui ne n'ont pas été mesurés ou intégrés au cours de cette expérience de modélisation.

Le tableau d'analyse de la variance est un résultat qui doit être analysé attentivement (Tab n°21).

Tab. n°21 : Tableau d'analyse de la variance.

| Analyse de la variance : | | | | | | |
|---------------------------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|--|
| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F | |
| Modèle | 18 | 0,785 | 0,044 | 1,528 | 0,409 | |
| Erreur | 3 | 0,086 | 0,029 | | | |
| Total corrigé | 21 | 0,871 | | | | |
| <i>Calculé contre le modèle</i> | | | | | | |
| <i>Y=Moyenne(Y)</i> | | | | | | |

C'est à ce niveau que l'on teste si l'on peut considérer que les variables explicatives sélectionnées apportent une quantité d'information significative au modèle (hypothèse nulle H0) ou non. En d'autres termes, c'est un moyen de tester si la moyenne de la variable à modéliser (la moyenne régionale du taux d'incidence grippale) suffirait à décrire les résultats obtenus ou non. Le test du F de Fisher est utilisé. Etant donné que la probabilité associée au F est dans ce cas supérieure à 0,40, cela signifie que l'on prend un risque de se tromper d'au moins 40% en concluant que les variables explicatives apportent une quantité d'information significative au modèle. Ceci nous conduit à conclure partiellement que cet essai de modélisation aboutit à un modèle de qualité médiocre.

Dans le but d'améliorer le modèle ultérieurement, il est nécessaire d'évaluer la contribution au modèle de chaque variable dans le but d'en sélectionner. La matrice de corrélation présentée en annexe (annexe n°4) permet d'éliminer un certain nombre de variables redondantes. En outre, un tableau dans la sortie XL-Stats de l'analyse de covariance (i.e. Type III-Sum of Squares) permet pour chaque variable d'évaluer sa contribution au modèle en évaluant l'impact de sa suppression du modèle (Tab. n°22). Ce tableau n'est pas dépendant de l'ordre dans lequel ont été sélectionnées les variables. Plus la probabilité associée au F de Fisher est faible, plus fort est l'impact de la variable sur la qualité du modèle.

Tab. n°22 : Contribution de chaque variable au modèle

| Analyse Type III Sum of Squares : | | | | | |
|-----------------------------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
| solde touristique/pop | 1 | 0,027 | 0,027 | 0,947 | 0,402 |
| nbre lits hôpitaux/pop | 1 | 0,001 | 0,001 | 0,050 | 0,837 |
| grandes entreprises | 1 | 0,067 | 0,067 | 2,357 | 0,222 |
| enseignement sup/20-24 ans | 1 | 0,121 | 0,121 | 4,248 | 0,131 |
| gdes surfaces/pop | 1 | 0,057 | 0,057 | 1,981 | 0,254 |
| nœud ferro | 1 | 0,020 | 0,020 | 0,689 | 0,467 |
| densité | 1 | 0,021 | 0,021 | 0,731 | 0,455 |
| RMlste/100habs | 1 | 0,034 | 0,034 | 1,201 | 0,353 |
| aéro trafic discrétisé | 3 | 0,086 | 0,029 | 1,000 | 0,500 |
| aéro schengen | 1 | 0,014 | 0,014 | 0,489 | 0,535 |
| migrations frontalières | 6 | 0,090 | 0,015 | 0,527 | 0,769 |

Il semble assez net que l'ensemble des variables quantitatives n'apporte qu'une contribution modeste au modèle. Leur suppression pourrait être envisagée lors d'un second essai de modélisation.

1-3 Comment améliorer le modèle ?

Trois points méritent d'être corrigés avant d'envisager la réalisation d'un second modèle. Il est, de prime abord, évident qu'un certain nombre de variables présente une information redondante. Un travail sur les corrélations partielles devra être effectué afin de réduire ce problème. De plus, si un lourd questionnaire théorique sur les variables (notamment de migrations) a été réalisé et a abouti à des codages régionaux : il est évident que ces codifications ne sont pas assez robustes pour être intégrées au sein d'un modèle. Elles possèdent, bien évidemment, un sens : nous ne les remettons pas en cause. Elles intègrent parfaitement l'analyse conduisant notamment à une cartographie du risque mais pourraient donner pleinement sens qu'après l'obtention de valeurs chiffrées précises. Enfin, il est nécessaire de s'interroger sur la manière d'intégrer les variables liées aux individus peuplant les régions.

2 - Réalisation d'une ANOVA

Etant entendu que notre analyse ne portera désormais que sur des variables quantitatives, nous utiliserons un des tests fondamentaux de la statistique : l'ANOVA. ANOVA est l'acronyme de "ANalysis Of VAriance", ou "Analyse de la Variance". Dans le cas d'une simple analyse de la variance, il convient de chercher s'il existe une relation entre un caractère quantitatif Y et un caractère qualitatif X : ceci revient à se demander si les valeurs de Y s'ordonnent selon les modalités de X. Cette méthode est particulièrement utile en géographie pour tester des hypothèses sur les répartitions spatiales (Groupe Chadule 1997). Du fait que chaque variable explicative est quantitative, nous pouvons considérer que l'analyse de variance ci-réalisée utilise le même cadre conceptuel que la régression linéaire. On distingue habituellement la régression simple (une seule variable explicative) de la régression multiple (plusieurs variables explicatives) bien que le cadre conceptuel et les méthodes de calculs soient identiques. Le principe de la régression linéaire est de modéliser une variable dépendante quantitative Y, au travers d'une combinaison linéaire de p variables explicatives quantitatives, X1, X2, ..., Xp. En appliquant ceci à nos données, ceci revient à considérer que nous souhaitons modéliser la moyenne du taux d'incidence grippale régionale à partir de l'ensemble des variables « structurelles » et « individuelles » que nous avons préalablement

sélectionnées. Nous souhaitons intégrer nos variables « individuelles » sous un indicateur unique dans le cadre de l'ANOVA. Pour ce faire, nous allons réaliser préalablement une analyse en composante principale (ACP) basée sur les facteurs de vulnérabilités individuelles.

2-1 En intégrant les résultats d'une ACP des facteurs de vulnérabilité liée aux individus

L'objectif de la réalisation de cette ACP est de pouvoir intégrer une information synthétique qualitative des facteurs de vulnérabilité liée aux lieux. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est l'une des méthodes d'analyse de données multivariées les plus utilisées. Dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continues ou discrètes) dans lequel n observations (ici les régions) sont décrites par p variables (ici les facteurs de vulnérabilité liée aux individus), si p est assez élevé, il est impossible d'appréhender la structure des données et la proximité entre les observations en se contentant d'analyser des statistiques descriptives univariées ou même une matrice de corrélation. Dans le cas présent, le nombre de variables descriptives est assez restreint : 5. Nous présenterons le tableau complet des données de l'ACP ainsi que l'ensemble des sorties réalisées sous XL-Stats en annexe (annexe n°5). Les statistiques descriptives sont détaillées dans le tableau n°23.

Tab. n°23 : Statistiques descriptives des variables de l'ACP

| Statistiques descriptives : | | | | | | | |
|--|--------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
| Total 00-19 ans (%) (princ) | 22 | 0 | 22 | 20,400 | 27,900 | 24,468 | 1,872 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | 22 | 0 | 22 | 16,300 | 28,800 | 22,050 | 3,019 |
| Actifs occupés (%) (princ) | 22 | 0 | 22 | 36,700 | 45,900 | 41,395 | 2,189 |
| Ménages 3 personnes ou plus (%) | 22 | 0 | 22 | 28,500 | 39,500 | 33,955 | 2,823 |
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | 22 | 0 | 22 | 21,500 | 38,900 | 35,027 | 3,961 |

Les 22 observations mentionnées par le tableau n°23 page 271 correspondent, bien entendu, aux 22 régions françaises. Les 5 variables descriptives sont : le pourcentage des 0-19 ans, le pourcentage des 60 ans et plus, le pourcentage des actifs occupés, le pourcentage des ménages de 3 personnes ou plus et enfin, les ménages équipés d'au moins 2 voitures.

Nous analysons ensuite la matrice des corrélations entre les divers facteurs de vulnérabilité liées aux lieux (Tab. n°24).

Tab. n°24 : La matrice des corrélations de l'ACP

| Matrice de corrélation (Pearson (n)) : | | | | | |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|
| Variables | Total 00-19 ans (%) (princ) | Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | Actifs occupés (%) (princ) | Ménages 3 personnes ou plus (%) | Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) |
| Total 00-19 ans (%) (princ) | 1 | -0,908 | 0,251 | 0,728 | -0,289 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | -0,908 | 1 | -0,446 | -0,809 | 0,427 |
| Actifs occupés (%) (princ) | 0,251 | -0,446 | 1 | 0,028 | 0,090 |
| Ménages 3 personnes ou plus (%) | 0,728 | -0,809 | 0,028 | 1 | -0,365 |
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | -0,289 | 0,427 | 0,090 | -0,365 | 1 |

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

La matrice des corrélations met en lumière certains phénomènes parfaitement explicatifs. Intéressons nous aux corrélations les plus fortes. La relation « pourcentage de moins de 19 ans » / « pourcentage de plus de 60 » présente un coefficient de corrélation de -0,908 (p=0,05). Schématiquement, on peut considérer que les régions où les populations des personnes de plus de 60 ans sont nombreuses ont *a contrario* des pourcentages de moins de 19 ans très faibles. En décomposant la population des régions en trois classes d'âge (moins de 20 ans, 20-59 ans et 60 ans et plus) et en ramenant ces effectifs de population à la population totale régionale, nous obtenons des pourcentages de classes d'âge par régions (Tab. n°25 p. 273). La tranche d'âge la moins dispersée à l'échelle nationale est celle des 20-59 ans avec un écart-type de 1,49.

Tab. n°25 : Pourcentages de trois tranches d'âge dans les régions françaises

| | % de moins de 20 ans | % de 20 ans à 59 ans | % 60 ans et plus |
|----------------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| Alsace | 25 | 56 | 19 |
| Aquitaine | 23 | 53 | 25 |
| Auvergne | 22 | 52 | 26 |
| Bourgogne | 23 | 52 | 25 |
| Bretagne | 24 | 52 | 23 |
| Centre | 24 | 52 | 24 |
| Champagne-Ardenne | 25 | 54 | 22 |
| Corse | 21 | 53 | 26 |
| Franche-Comté | 25 | 53 | 22 |
| Ile-de-France | 26 | 57 | 17 |
| Languedoc-Roussillon | 24 | 51 | 25 |
| Limousin | 20 | 51 | 28 |
| Lorraine | 24 | 55 | 21 |
| Midi-Pyrénées | 23 | 53 | 24 |
| Nord-Pas-de-Calais | 27 | 54 | 19 |
| Basse-Normandie | 25 | 52 | 24 |
| Haute-Normandie | 26 | 54 | 20 |
| Pays de la Loire | 26 | 53 | 22 |
| Picardie | 26 | 54 | 19 |
| Poitou-Charentes | 23 | 52 | 26 |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | 24 | 52 | 25 |
| Rhône-Alpes | 26 | 54 | 21 |
| <i>Moyenne</i> | 24 | 53 | 23 |
| <i>écart-type</i> | 1,77 | 1,49 | 2,88 |

Cette classe regroupe de 51 à 57% de la population en fonction des régions : les différences inter-régionales sont finalement assez faibles. Les plus fortes variations s'observent pour la tranche d'âge « 60 ans et plus » avec un écart-type de 2,88 (pourcentages allant de 19% à 28% d'habitants de cette tranche d'âge en fonction des régions). Avec une population des 20-59 ans à peu près équivalente à 50% au niveau nationale, un mouvement de balancier s'effectue entre la classe d'âge des moins de 20 ans et celle des plus de 60 ans expliquant la corrélation négative élevée.

La relation « ménages de 3 personnes ou plus » / « pourcentage des moins de 19 ans » est également élevée : coefficient de corrélation de 0,728 ($p=0,05$). Il semble logique que si le nombre d'enfants en bas âges croît, les ménages de plus de 3 personnes augmentent mécaniquement. A l'inverse, les plus de 60 ans vivent généralement en seuls ou en couple:

leurs enfants étant partis fonder un foyer. De fait, plus il y a des personnes de plus de 60 ans au sein d'une population donnée, moins il y a des ménages de 3 personnes ou plus : coefficient de corrélation de -0,809 ($p=0,05$). Deux autres corrélations semblent significatives mais dans de moindres mesures. La relation « pourcentage des plus de 60 ans » / « actifs occupés » est assez significatives : coefficient de corrélation de -0,446 ($p=0,05$). Il s'agit là d'une relation inverse qui s'explique par complémentarité. L'augmentation de la part des plus de 60 ans au sein d'une population (et, de fait, des retraités) abaisse automatiquement la part des actifs occupés au sein de cette même population. La dernière corrélation significative met en relation le pourcentage des plus de 60 ans et les ménages équipés d'au moins deux voitures : coefficient de corrélation de 0,427 ($p=0,05$). L'interprétation en est légèrement plus complexe. On peut imaginer : que le niveau d'épargne atteint à la retraite permet d'acquérir deux véhicules ; que les deux véhicules servaient durant la vie active ; qu'il s'agit de véhicules de collections etc. ...

Rappelons que le but d'une ACP est de résumer et de synthétiser sur des axes factoriels l'ensemble des variables pour finalement appréhender au sein d'un plan factoriel, l'ensemble des observations. Il convient préalablement de s'interroger sur la hiérarchie des facteurs (Tab. n°26).

Tab. n°26 : L'information prise en compte par les facteurs

| Analyse en Composantes Principales : | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|---------|
| Valeurs propres : | | | | | |
| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
| Valeur propre | 2,920 | 1,141 | 0,686 | 0,238 | 0,015 |
| Variabilité (%) | 58,403 | 22,829 | 13,722 | 4,751 | 0,295 |
| % cumulé | 58,403 | 81,232 | 94,954 | 99,705 | 100,000 |

Le premier facteur représente à lui seul plus de la moitié de l'information (58,403%) du tableau initial, le second presque le quart (22,829%). Les facteurs ultérieurs ne seront pas retenus car ils portent une moindre quantité d'information. L'objectif de résumer l'information est atteint : les deux premiers axes contiennent presque toute l'information (81,232%). Il est ensuite nécessaire de s'interroger sur le type d'information porté par tel ou tel facteur. Nous pouvons, pour ce faire, interpréter le tableau de corrélation entre les variables et les facteurs (Tab. n°27 p. 275) et le cercle de ces mêmes corrélations (Fig. n°103 p. 275).

Tab. n°27 : Corrélations entre les variables et les facteurs

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|--|---------------|---------------|--------|--------|--------|
| Total 00-19 ans (%) (princ) | -0,913 | 0,066 | 0,218 | -0,333 | 0,051 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | 0,986 | -0,133 | 0,011 | 0,017 | 0,098 |
| Actifs occupés (%) (princ) | -0,337 | 0,859 | -0,368 | 0,106 | 0,032 |
| Ménages 3 personnes ou plus (%) | -0,863 | -0,220 | 0,302 | 0,339 | 0,036 |
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | 0,505 | 0,577 | 0,642 | 0,014 | -0,017 |

Evidemment, notre intérêt est essentiellement porté vers les facteurs F1 et F2. Analysons les corrélations les plus fortes entre les facteurs F1 et F2 et l'ensemble des variables afin de détecter une logique. Les corrélations les plus fortes au niveau du facteur F1 concernent les variables : « pourcentage des moins de 19 ans », « pourcentage des plus de 60 ans » et « ménages de 3 personnes ou plus ». Ce facteur F1 semblerait donc s'intéresser principalement à des variables d'âge et de structure des ménages. Les corrélations les plus fortes au niveau du facteur F2 concernent les variables : « pourcentage d'actifs occupés » et « pourcentage des ménages équipés d'au moins 2 voitures ». Le facteur F2 semble s'intéresser plus au niveau d'activité et à la mobilité.

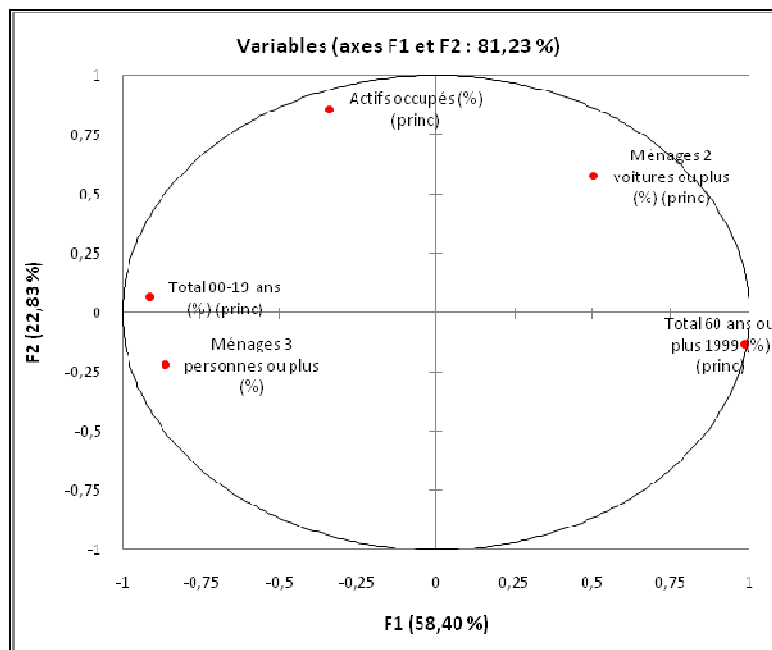


Fig. n°103 : Le cercle des corrélations entre les variables et les facteurs

Le cercle des corrélations entre les variables et les facteurs illustre l'information précédente (Fig. n°103). De plus, on pourra se référer en annexe à la table des cosinus : plus le cosinus est élevé (en valeur absolue), plus la variable est liée à l'axe. Plus le cosinus est proche de

zéro, moins la variable est liée à l'axe. Le cercle des corrélations correspond à une projection des variables initiales sur un plan à deux dimensions constitué par les deux premiers facteurs. Lorsque deux variables sont loin du centre du graphique, alors si elles sont : proches les unes par rapport aux autres, alors elles sont significativement positivement corrélées, orthogonales les unes par rapport aux autres, alors elles sont significativement non-corrélées, symétriquement opposées par rapport au centre, alors elles sont significativement négativement corrélées. Dans le cas, la corrélation inverse entre les pourcentages de moins de 19 ans et de plus de 60 ans est nette, ainsi que leur fort lien avec le facteur F1. On note également le lien entre le facteur F2 et le pourcentage d'actifs occupés.

Un des objectifs fondamentaux dans la réalisation d'une ACP est la représentation des observations sur un plan en deux dimensions afin d'identifier des groupes de régions. Chaque observation est caractérisée par un couple de coordonnées relatives à F1 et F2 (Tab. n°28)

Tab. n°28 : Coordonnées des régions sur les axes

| Observation | Code | F1 | F2 |
|----------------------------|------|--------|--------|
| Ile-de-France | IdF | -3,436 | -0,038 |
| Champagne-Ardenne | CA | -0,604 | -0,118 |
| Picardie | Pi | -2,321 | -0,086 |
| Haute-Normandie | HN | -1,801 | -0,087 |
| Centre | Ce | 0,401 | 0,753 |
| Basse-Normandie | BN | 0,014 | 0,046 |
| Bourgogne | Bo | 1,235 | 0,269 |
| Nord-Pas-de-Calais | NPdC | -2,776 | -2,184 |
| Lorraine | Lo | -0,765 | 0,017 |
| Alsace | Al | -1,642 | 1,612 |
| Franche-Comté | FC | -0,407 | 0,801 |
| Pays de la Loire | PL | -0,606 | 1,293 |
| Bretagne | Br | 0,598 | 0,572 |
| Poitou-Charentes | PC | 1,955 | 0,334 |
| Aquitaine | Aq | 1,388 | 0,398 |
| Midi-Pyrénées | MP | 1,406 | 0,721 |
| Limousin | Li | 3,680 | 0,084 |
| Rhône-Alpes | RA | -1,257 | 1,070 |
| Auvergne | Au | 1,961 | 0,540 |
| Languedoc-Roussillon | LR | 1,339 | -2,030 |
| Provence-Alpes-Côte d'Azur | PACA | 0,670 | -1,660 |
| Corse | Co | 0,969 | -2,307 |

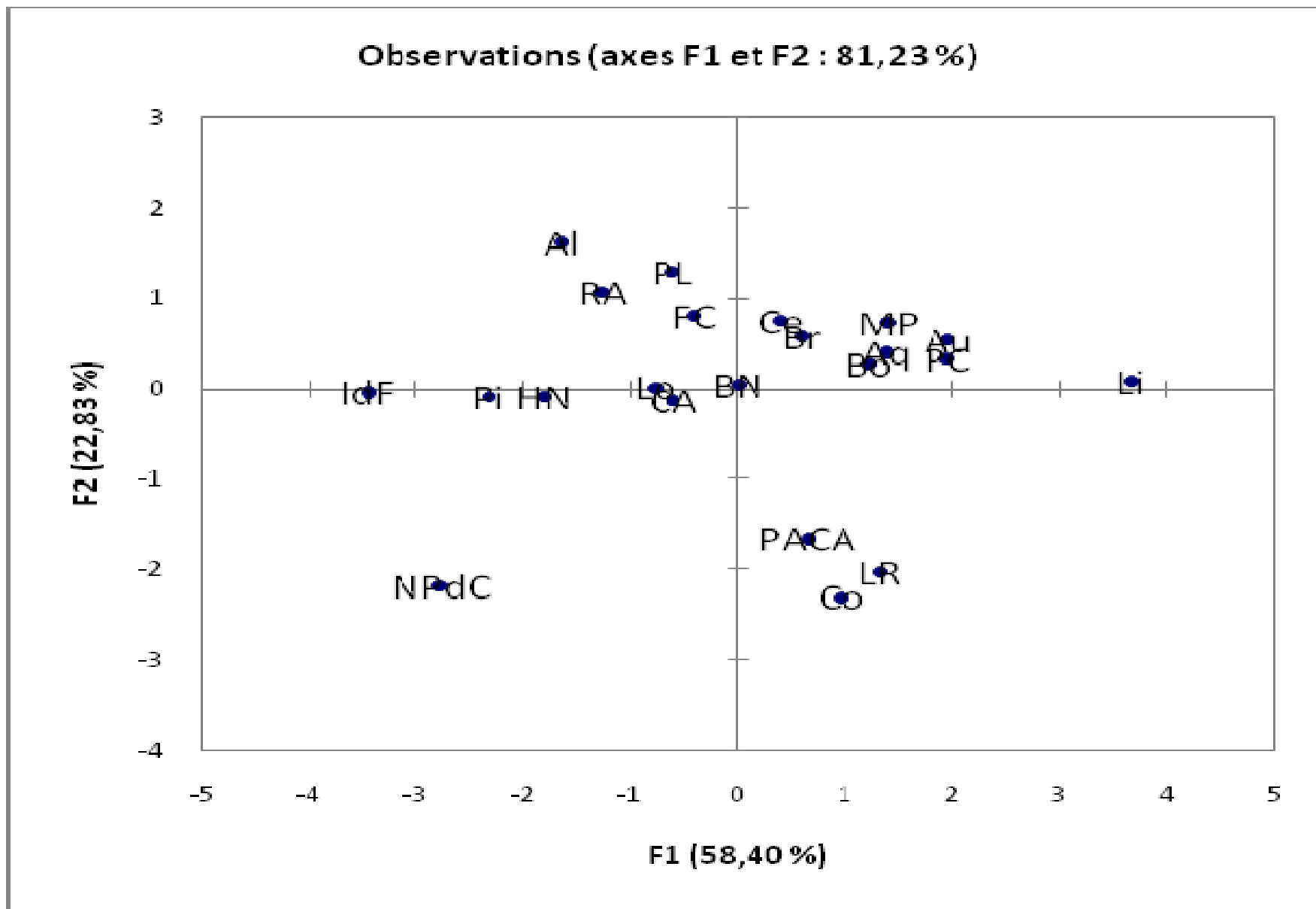


Fig. n°104 : Représentation des régions sur un plan factoriel

Ces coordonnées sont mentionnées ici car ce sont précisément elles qui seront intégrées par la suite dans l'ANOVA. Chaque observation (région) est caractérisée par un couple de coordonnées qui résumant bien l'information sur la vulnérabilité liée aux individus. Ce couple de coordonnées purement quantitatives s'intègre sans mal dans le cadre d'un modèle.

Analysons enfin la représentation des observations sur le plan factoriel (Fig. n°104 p.277). Cinq grands groupes de régions relatives à leurs populations semblent se distinguer :

- Jeunes, peu actives et aux familles nombreuses: le Nord-Pas-de-Calais
- Jeunes et assez actives : Haute et Basse Normandie, Champagne Ardenne, Ile-de-France.
- Jeunes et actives : Rhône-Alpes, Alsace, Pays de la Loire, France Comté.
- Plus âgées et actives : Bretagne, Auvergne, Midi-Pyrénées, Bourgogne, Poitou-Charente, Limousin
- Plus âgées et peu actives : PACA, Languedoc-Roussillon, Corse.

S'opposent finalement une France du nord et des grandes agglomérations et une France du sud plus âgée. La France du nord et des grandes agglomérations a une population plutôt jeune : certaines régions y ont connu la déprise industrielle engendrant le chômage mais d'autres connaissent encore des niveaux d'activité importants (le bassin parisien et une large frange est du pays). La France du sud (+ la Bretagne) est plus âgée. Certaines régions conservent un niveau d'activité intéressant (lié à des secteurs d'industrie de pointe ou à l'agriculture), d'autres attirent clairement des populations âgées désireuses de passer une retraite paisible sous des cieux cléments (pourtour méditerranéen).

La réalisation de cette ACP nous permet ainsi d'intégrer les paramètres de vulnérabilité liée aux individus au sein du modèle.

2-2 Quels résultats pour l'ANOVA ?

Les coordonnées des observations sur les facteurs F1 et F2 seront traitées, dans le cadre de l'ANOVA, comme des variables explicatives à part entière. Afin d'améliorer encore le modèle, considérant que les données ne sont pas suffisamment continues sur les 20 années en Corse, nous n'avons pas intégré l'île de beauté dans l'analyse : le nombre d'observation est donc désormais de 21 (Tableau n°29. p.279).

Tableau n°29 : Statistiques descriptives des variables de l'ANOVA

| Statistiques descriptives : | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
| M_totale | 21 | 0 | 21 | 121,261 | 244,494 | 170,071 | 32,965 |
| solde touristique | 21 | 0 | 21 | -154347,667 | 253345,000 | 21740,159 | 73162,265 |
| nombre de lits d'hôpitaux | 21 | 0 | 21 | 3280,000 | 41402,000 | 10726,429 | 8402,158 |
| grandes entreprises | 21 | 0 | 21 | 0,510 | 1,262 | 0,867 | 0,202 |
| enseignement sup | 21 | 0 | 21 | 22166,000 | 599281,000 | 106347,905 | 124664,780 |
| grandes surfaces | 21 | 0 | 21 | 167,000 | 1621,000 | 517,286 | 320,536 |
| densité | 21 | 0 | 21 | 42,792 | 956,605 | 145,909 | 197,153 |
| Précocité | 21 | 0 | 21 | 74,000 | 155,000 | 104,333 | 22,874 |
| ACP_F1 | 21 | 0 | 21 | -3,436 | 3,680 | -0,046 | 1,778 |
| ACP_F2 | 21 | 0 | 21 | -2,184 | 1,612 | 0,110 | 0,988 |

Les différentes variables présentées précédemment sont : le solde touristique, le nombre de lits d'hôpitaux, le pourcentage de grandes entreprises, les inscrits dans l'enseignement supérieur, le nombre de grandes surfaces alimentaires, la densité de population, l'indice de précocité de la région face au déclenchement épidémique et les coordonnées des observations sur F1 et F2 dans le cadre de l'ACP afin de tenir compte des variables de vulnérabilité liée aux individus. Ce tableau, comme les tableaux descriptifs précédents, présente également les minima/maxima, les moyennes et les écarts-types. Notons, qu'il n'y a de données manquantes pour aucune observation.

La première phase d'analyse des résultats se produit face au tableau présentant les coefficients d'ajustement. Comme dans le cadre de l'ANCOVA, c'est la lecture du coefficient de détermination qui est la plus importante. Rappelons encore que le R^2 donne une idée du pourcentage de variabilité de la variable à modéliser, expliqué par les variables explicatives. Plus ce coefficient est proche de 1, meilleur est le modèle. Le coefficient de détermination est ici de 0,791 (Tab. n°30 p.280)

Tab. n°30 : Statistiques relatives à l'ajustement du modèle de régression dans le cadre de l'ANOVA

| Coefficients d'ajustement : | |
|-----------------------------|---------|
| Observations | 21,000 |
| Somme des poids | 21,000 |
| DDL | 11,000 |
| R ² | 0,791 |
| R ² ajusté | 0,620 |
| MCE | 413,426 |
| RMCE | 20,333 |
| MAPE | 7,090 |
| DW | 2,292 |
| Cp | 10,000 |
| AIC | 132,935 |
| SBC | 143,380 |
| PC | 0,590 |

Un coefficient de détermination de 0,79 signifie que dans ce cas précis, près de 80% de la variabilité de la variable à modéliser (moyenne du taux d'incidence grippale régionale) est expliquée par le corpus de variables explicatives. Le reste de la variabilité est explicable par des effets qui ne sont ni recensés, ni mesurés dans cette analyse : elle pourrait correspondre notamment à des variables explicatives relatives à des facteurs de vulnérabilité non-répertoriés.

L'évaluation des résultats se poursuit avec le tableau d'analyse de la variance (Tab. n°31). C'est à ce niveau que l'on teste si l'on peut considérer que les variables explicatives sélectionnées apportent une quantité d'information significative au modèle (hypothèse nulle H0) ou non.

Tab. n°31 : Tableau d'analyse de la variance (ANOVA)

| Analyse de la variance : | | | | | |
|--|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
| Modèle | 9 | 17185,491 | 1909,499 | 4,619 | 0,010 |
| Erreur | 11 | 4547,684 | 413,426 | | |
| Total corrigé | 20 | 21733,175 | | | |
| <i>Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$</i> | | | | | |

Une nouvelle fois le test du F de Fischer est utilisé. Etant donné que la probabilité associée au F est dans ce cas de 0.01, cela signifie que l'on prend un risque de 1% en concluant que la variable explicative apporte une quantité d'information significative au modèle : ceci est satisfaisant.

Xl-Stats propose alors une équation du modèle basée sur l'ensemble des variables explicatives : celle-ci est proposée dans la figure n°105.

| |
|---|
| <p>Taux d'incidence grippale moyen régional = $(2,02-7,48E-05*A) - (1,67-03*B) + (30,95*C) + (4,57E-04*D) + (5,46E-02*E) - (0,32*F) + (1,25*G) + (4,39*ACP_F1) - (2,69*ACP_F2)$</p> |
|---|

Fig. n°105 : L'équation du modèle générée par XL-Stats³⁶

Plusieurs constats peuvent alors être réalisés. Il semble, tout d'abord, que le modèle généré par l'analyse de la variance soit globalement satisfaisant dans une logique descriptive ou explicative : c'était le but ici. Si le modèle devait être utilisé à des fins de prévision ou de simulation, une analyse fine des paramètres du modèle s'avèrerait nécessaire. L'ensemble de la sortie XL-Stats relative à l'ANOVA sera néanmoins présenté en annexe (Annexe n°6). Il est, en outre, évident qu'une telle entreprise devra être reprise conjointement avec des statisticiens pour une analyse plus poussée. Nos connaissances géographiques générales sont certes très utiles dans l'analyse préalable, le choix et la discussion des données : elles sont moins performantes dans le cadre de la modélisation d'où l'intérêt renouvelé pour une meilleure interdisciplinarité. La détermination d'une équation de régression n'est pas une fin en soi. Elle n'a de sens que par l'interprétation géographique que l'on peut en fournir.

3 - Modèle et écarts au modèle.

Expliquer une variable Y en fonction d'une variable X au moyen d'une équation de régression revient à décomposer l'information contenue dans Y de la façon suivante : Y (variable expliquée) = Y' (variable calculée) + E (résidus). On peut juger de la qualité du modèle en examinant la distribution des résidus. L'examen des résidus consiste préalablement à voir si la régression effectuée offre une bonne adéquation au modèle. L'histogramme des résidus centrés-réduits (Fig. n°106 p.282) permet rapidement de repérer les valeurs hors de l'intervalle [-2 ; +2] et de conclure sur leur normalité. La sortie complète de l'ANOVA est en annexe (Annexe n°6).

³⁶ A : solde touristique ; B : nombre de lits d'hôpitaux ; C : pourcentage de grandes entreprises ; D : nombre d'inscrits dans l'enseignement supérieur ; E : nombre de grandes surfaces alimentaires ; F : densité de population ; G : précocité du déclenchement

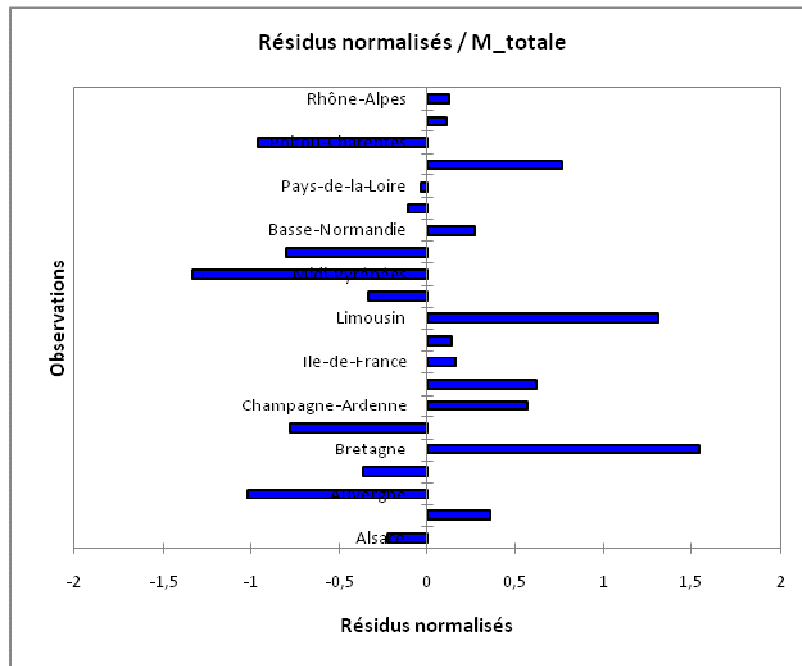


Fig. n°106 : Histogramme des résidus centrés-réduits.

Les résidus figurent bien dans un intervalle compris entre -2 et +2. Si le modèle est bon, il se trompe de manière "équilibrée" : les résidus sont « ventilés » de façon gaussienne. Il faut vérifier que la distribution des résidus est approximativement gaussienne pour évaluer la qualité du modèle.

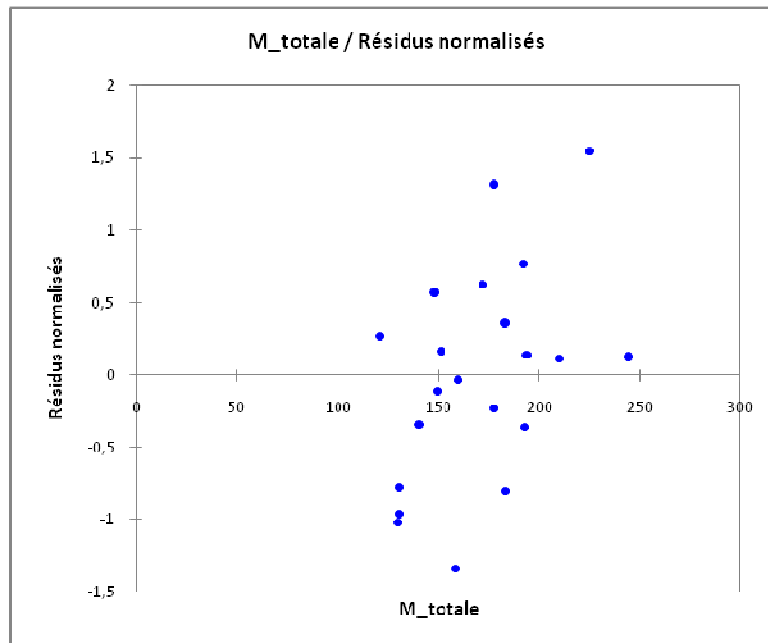


Fig. n°107 : Nuage de points Résidus normalisés/Incidence moyenne

Une attention particulière doit être portée aux résidus centrés réduits, qui, étant données les hypothèses liées à la régression linéaire, doivent être distribués suivant une loi normale $N(0,1)$. Cela signifie, entre autres, que 95% des résidus doivent se trouver dans l'intervalle $[-1.96, 1.96]$. Etant donné le faible nombre de données dont on dispose ici, toute valeur en dehors de cet intervalle est révélatrice d'une donnée suspecte. L'ensemble des observations est bien compris dans cet intervalle, en outre, les résidus sont distribués de façon équilibrée entre positifs et négatifs avec de nombreuses valeurs proches de zéro (Fig. n°107 p.282) : la distribution semble bien gaussienne. Nous souhaitons, malgré tout, valider l'apparente normalité de cette distribution par le biais du test de Kolmogorov-Smirnov. Ce test sert à comparer une distribution expérimentale (ici celle des résidus) et une distribution théorique (ici $N(0,1)$). Le logiciel XL-Stats nous permet de réaliser ce test.

Tab. n° 32 : Résultats du test de Kolmogorov-Smirnov

| | |
|---------|-------|
| D | 0,091 |
| p-value | 0,993 |
| alpha | 0,05 |

H_0 : L'échantillon suit une loi Normale

H_a : L'échantillon ne suit pas une loi Normale

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on peut valider l'hypothèse nulle H_0 (Tab. n°32). Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 99,27%. L'échantillon des résidus standards ci-étudié suit une loi Normale (Fig. n°108).

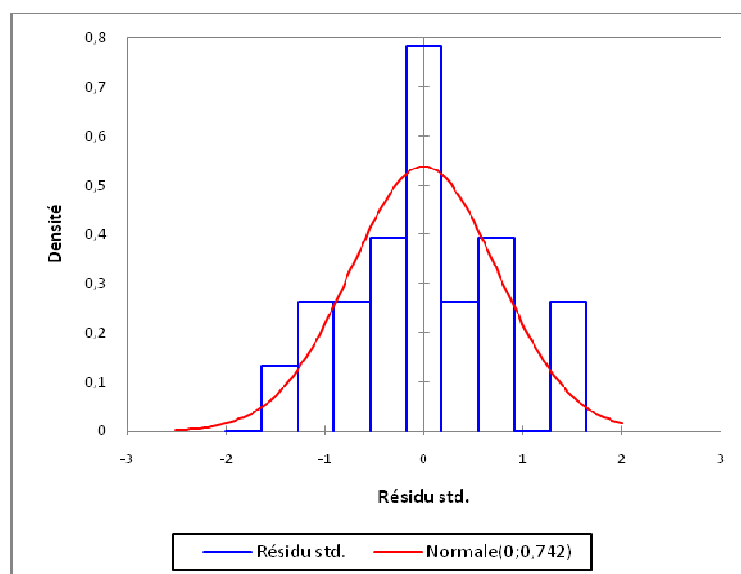


Fig. n°108 : Les résidus standards suivent une loi Normale

Une analyse plus fine des résidus nous pousserait à affirmer que ceux-ci semblent supérieurs à zéro pour les plus grandes valeurs d'incidence moyenne. Ceci signifierait que le modèle aurait tendance à toujours sous-estimer les grandes incidences. Cet effet peut être discuté à la lumière d'un graphique représentant l'incidence prédite en fonction de l'incidence observée (Fig. n°109).

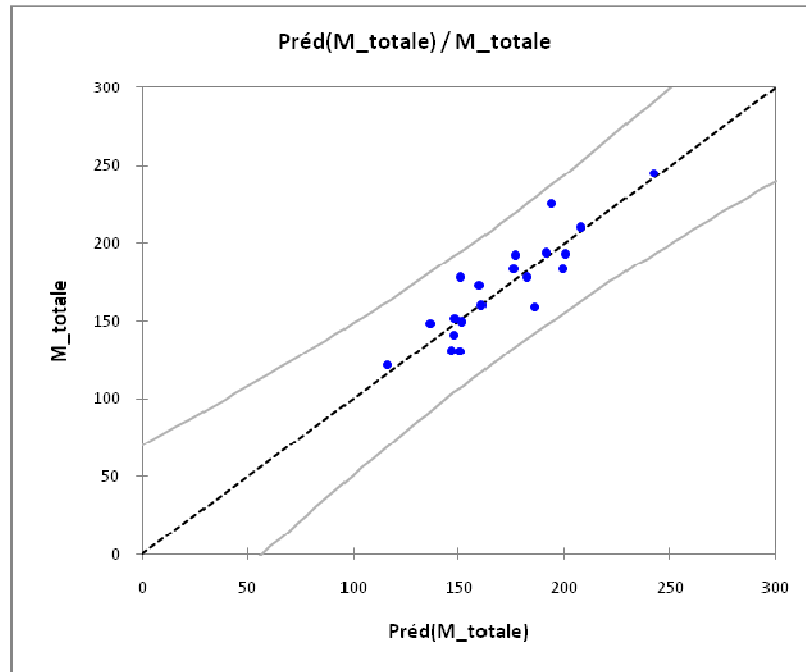


Fig. n°109 : Nuage de points - Incidence prédite/Incidence observée

Bien que ceci ne soit pas extrêmement flagrant, il semblerait en effet que le modèle ait très légèrement tendance à sous-estimer la prédiction des plus fortes incidences régionales. La figure n°109 peut montrer plusieurs choses : s'il s'agissait d'un modèle parfait, l'ensemble des observations serait placé sur la droite $y=x$; dans un bon modèle les points sont répartis de manière homogène autour de cette droite, c'est d'ailleurs cela que l'on teste lorsque l'on analyse la Normalité de la distribution des résidus. Dans le cadre de ce modèle, les points sont assez bien répartis autour de cette droite $y=x$. Il est vrai que pour les valeurs d'incidence les plus élevées, le modèle sous-estime légèrement sa prédiction mais, avec un coefficient de détermination raisonnable, un test de Fischer concluant, un distribution Normale des résidus sans valeurs *a priori* aberrantes, ce modèle semble concluant.

Il peut être cependant intéressant de réaliser une cartographie des résidus standards afin de mettre en avant les régions qui s'écartent le plus du modèle et d'en tirer un certain nombre d'hypothèses explicatives (Fig. n°110 p.285).

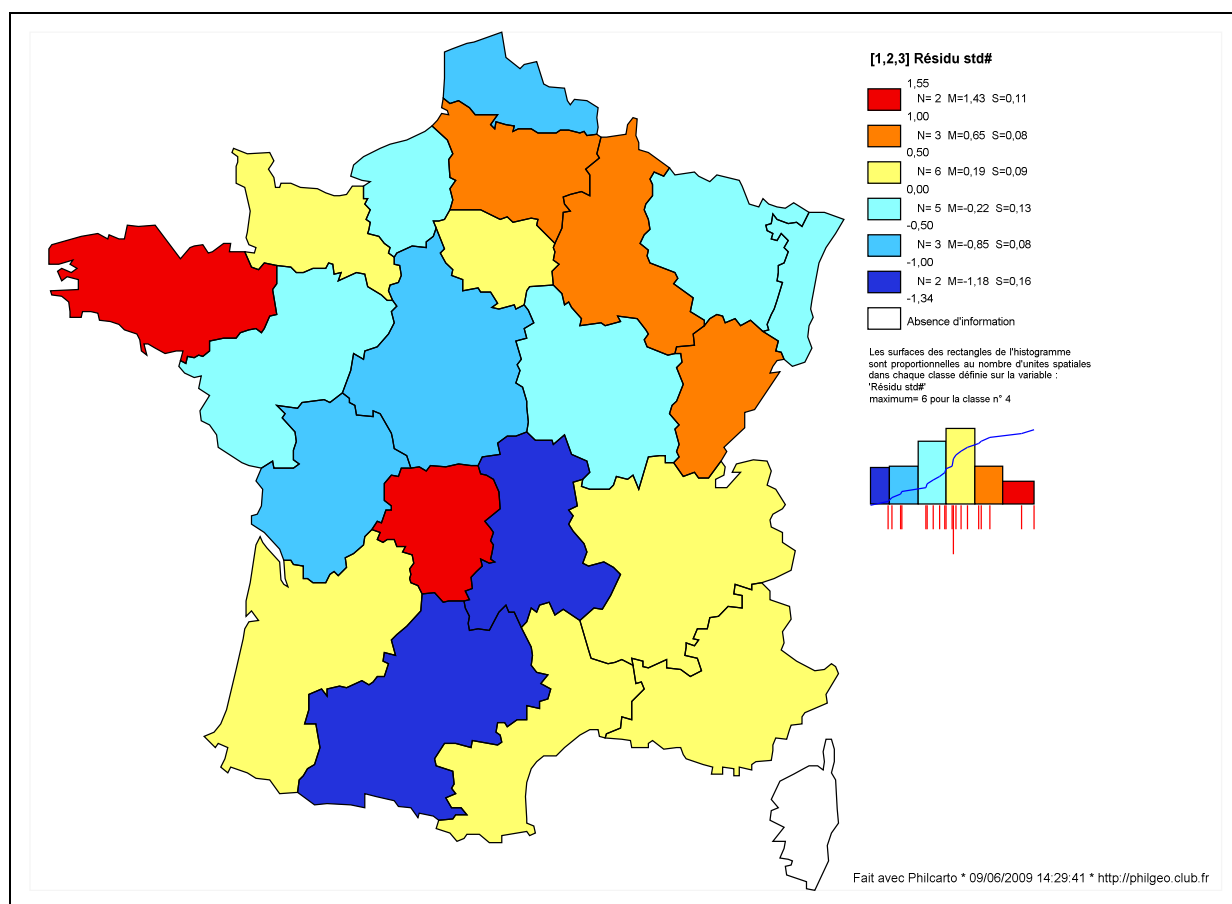


Fig. n°110 : Représentation cartographique des résidus standards de la régression

L'analyse de la carte des résidus standards nous permet d'évaluer les régions qui s'écartent le plus du modèle. Nous mettrons en avant les régions pour lesquelles les résidus standards sont supérieurs à un écart-type positivement ou négativement. Les régions aux plus forts résidus standards positifs ont vu le modèle sous-estimer l'incidence moyenne tandis que les régions aux plus forts résidus standards négatifs ont, elles, vu le modèle sur-estimer l'incidence moyenne. Quatre régions ont des résidus standards éloignés du modèle de plus d'un écart-type : la Bretagne, le Limousin, l'Auvergne et Midi-Pyrénées. Le modèle sous-estime le taux d'incidence pour le Limousin et la Bretagne : le taux moyen régional d'incidence grippale est généralement plus élevé en réalité que celui prédit. Deux explications peuvent être fournies : soit une variable de vulnérabilité liée à ces deux régions a été omise entraînant une baisse du taux d'incidence prédit ; soit l'incidence réelle est à la base sur-évaluée. La figure n°72 p.224 montre que le taux d'incidence moyen de la Bretagne est assez élevé tandis que celui du Limousin est dans la moyenne métropolitaine : il ne semble pas y avoir une sur-évaluation des taux d'incidence réels pour ces deux régions. Ainsi, la recherche d'autres facteurs de

vulnérabilité semble nécessaire. Quels points communs relatifs à la structure et aux individus de ces régions peut-on trouver ? Un maillage de communes rurales de faibles tailles obligeant les habitants à se déplacer ? peut-être... Quoi qu'il en soit, il sera nécessaire à l'avenir de s'interroger sur ce facteur de vulnérabilité commun entre ces deux régions. *A contrario*, le modèle sur-estime le taux d'incidence grippale pour l'Auvergne et Midi-Pyrénées : celui-ci est en réalité plus faible. Certains facteurs de vulnérabilité auraient donc tendance à augmenter le taux d'incidence prédit de ces régions. Rappelons que le modèle est construit sur un ensemble restreint de variables : tous les facteurs de vulnérabilités listés n'ont pas forcément été intégrés dans le modèle. Il est vraisemblable que si l'ensemble de ces facteurs avait pu être analysé, les taux d'incidence prédits de ces deux régions auraient été plus faibles. En effet, les essais de synthèse cartographique des facteurs de vulnérabilité (Fig. n°95 et 97 pp. 256 et 258) montraient que l'Auvergne comme Midi-Pyrénées étaient où les habitants étaient théoriquement peu exposés comparativement aux autres régions métropolitaines. Le modèle étant basé sur ces facteurs de vulnérabilité, si l'ensemble avait été intégré, les taux moyens d'incidence grippale de l'Auvergne et de Midi-Pyrénées n'auraient pas été sur-estimés : ils auraient été plus faibles en lien avec la faible vulnérabilité que nous avançons.

Conclusion partielle

Après avoir déterminé des facteurs de vulnérabilité jugés capitaux dans l'exposition au virus grippal, il a été question d'opérer un tri dans ces variables afin de les intégrer en tant que facteurs dans le cadre d'un modèle explicatif. Le premier essai de modélisation (celui de l'Ancova) ne s'intéressait qu'aux facteurs de vulnérabilité structurelle. Le résultat montra un modèle peu robuste vraisemblablement dû à des variables qualitatives peu précises. En outre, à ce stade, les variables de vulnérabilités individuelles n'avaient pas été prises en compte. Nous décidions alors de ne travailler que sur des variables quantitatives ainsi que de résumer l'information relative à la vulnérabilité individuelle par le biais d'une ACP. Finalement, le modèle final propose de prédire le taux d'incidence grippale moyen régional sur la base de facteurs de vulnérabilité structurelle (variables essentiellement quantitatives) et de facteurs de vulnérabilité individuelle correspond aux coordonnées des régions sur le plan factoriel de l'ACP. Il en résulte un modèle explicatif assez robuste qui gagnerait en précision vraisemblablement en intégrant des variables supplémentaires.

Conclusion de partie

La grippe ne touche pas les territoires manière homogène. A l'échelon d'étude auquel nous travaillons (la région), nous constatons que des régions sont statistiquement plus touchées que d'autres, que certaines dépassent le seuil épidémique précocement alors que d'autres franchissent ce seuil bien après. Nous notons également le fort lien entre des variables démographiques et des variables épidémiques : une corrélation significative positive entre l'incidence grippale et la densité de population. C'est sur la base de ces observations que nous avons souhaité expliquer l'hétérogénéité régionale face au risque grippal en France. Certaines régions semblent statistiquement plus touchées que d'autres : ne peut-on pas l'expliquer à l'aide de facteurs socio-démo-économiques qui deviendrait, dans la thématique du risque, des facteurs de vulnérabilité ?

Réaliser une évaluation des paramètres jugés augmenter la vulnérabilité aux virus grippaux est une entreprise complexe et, par définition, imparfaite. Il est impossible de lister précisément l'ensemble des paramètres augmentant la probabilité de contact avec le virus grippal. Malgré tout, nous avons essayé d'extraire d'une part un panel de variables basé sur l'équipement des régions en infrastructures au sein desquelles les brassages de population sont nombreux ; d'autre part un second corpus de variables issues d'une évaluation des individus à risque (en % de la population totale des régions). La conjonction de ces facteurs de vulnérabilité a abouti à deux cartographies distinctes : l'une basée sur les facteurs de vulnérabilité « structurels », l'autre relative aux facteurs de vulnérabilité « individuels ». Ces indices synthétiques de vulnérabilité furent construits de la même manière que des scores de déprivation : en cumulant les écarts centrés réduits de chacune des variables incriminées. Un indice global de vulnérabilité cumulant les composantes « individuelle » et « structurelle » a été proposé en additionnant simplement les deux indices.

Le dernier temps de cette partie fut consacré à l'intégration de ces facteurs de vulnérabilité au sein d'un modèle afin de voir si l'incidence grippale moyenne régionale peut-être expliquée par ce corpus de variables. Plusieurs essais, dans le but d'affiner le modèle, furent réalisés. La volonté première était d'intégrer l'ensemble des facteurs préalablement listés. Nous avons ainsi mené une analyse de covariance permettant d'intégrer à la fois les caractères qualitatifs et les caractères quantitatifs : cet essai se révéla rapidement infructueux. Caractères redondants et facteurs de vulnérabilité qualitatifs peu robustes ont contribué à rendre le modèle faiblement explicatif. Après une sélection des facteurs et le choix d'abandonner les variables qualitatives, un nouvel essai fut mené. Les facteurs de vulnérabilité « individuels »

ont été résumés à l'aide d'une analyse en composante principale : les coordonnées de chaque observation allaient pouvoir être intégrées dans une analyse de variance avec l'ensemble des facteurs de vulnérabilité « structurels » sélectionnés. Le résultat aboutit à un modèle relativement robuste attestant d'un impact très vraisemblable des facteurs de vulnérabilité sur les niveaux moyens d'incidence grippale en région.

Après avoir mis en avant l'impact des caractères physiques du milieu sur le déclenchement épidémique et la stimulation de l'aléa viral, cette partie démontre l'impact de facteurs socio-éco-démographiques dans l'exposition et le risque de contraction du virus grippal. L'étude aléa-vulnérabilité a été menée et doit conduire en conclusion à la création d'une carte du risque grippal, risque analysé du point de vue géographique.

CONCLUSION GENERALE

Tout phénomène caractérisé par une hétérogénéité spatiale peut potentiellement faire l'objet d'une lecture géographique : la recherche des causes de cette hétérogénéité étant l'essence même de ce type d'entreprise. Ce travail considéra les épidémies saisonnières de grippe comme un objet géographique à part entière et l'ensemble de la thèse s'attacha à démontrer l'inégal « risque » de contraction de la maladie au sein du territoire français. Le risque, dans son acceptation en sciences humaines, fut donc la grille de lecture et d'analyse du phénomène épidémique. Etudier le risque en géographie n'est pas synonyme, nous le rappelons, de calculer une probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux (aboutissant ici à une augmentation de la morbi/mortalité). Si le calcul du temps de retour de l'aléa est généralement intégré dans des études de risque au sens géographique du terme, la particularité du positionnement géographique vise à mettre en lumière des vulnérabilités différentielles aboutissant à une mosaïque de territoires potentiellement inégaux devant ce risque. C'est ce postulat d'une différence d'exposition inter-régionale au virus qui nous a conduits à nous interroger sur les facteurs environnementaux au sens large pouvant expliquer cette hétérogénéité. Objet géographique, l'épidémie saisonnière de grippe est complexe à analyser tant l'imbrication de l'aléa et de la vulnérabilité est aigue. Distinguer les éléments ayant trait à l'une ou l'autre de ces entités s'avéra particulièrement difficile. Nous avons finalement considéré « l'arrivée » saisonnière du virus comme l'aléa. Nous définissions, de fait, une fenêtre temporelle « à risque » restreinte : la saison froide. Ce lien entre saison et activité virale nous a alors conduit à analyser un vaste corpus bibliographique bio-médical afin de mettre en évidence les travaux liant saison météorologique et saison épidémique. Il apparut alors que certaines conditions de température et d'humidité propres à la saison froide permettent une meilleure survie du virus dans l'air : les conditions atmosphériques jouent sur la stimulation de l'aléa. Dans le même temps, ces conditions froides augmentent la vulnérabilité des individus en agissant sur les bronches permettant une pénétration plus aisée du virus dans l'organisme. On le voit ici, les caractéristiques physiques du milieu stimulent l'aléa et augmentent dans le même temps la vulnérabilité : preuve de cette imbrication complexe. En outre, nous avons montré plus tard que la vulnérabilité est loin d'être uniquement due à la condition physique du milieu mais que sa composante humaine devait

impérativement être prise en compte dans l'explication d'une exposition au risque géographiquement différenciée.

Nous nous attacherons, dans cette conclusion générale, à passer en revue les différentes étapes qui jalonnent cette étude ainsi que les principaux résultats auxquels nous avons aboutis.

Les premiers travaux visant à distinguer une hétérogénéité spatio-temporelle des états de santé remontent à l'Antiquité. Hippocrate fut un des premiers à envisager une influence saisonnière (au sens climatique) sur la santé des populations. Les saisons de l'année caractérisées par des successions de types de temps dissemblables devaient augmenter la sensibilité des individus, les rendant plus vulnérables. En s'intéressant à des paramètres climatiques particuliers : le chaud, le froid (idée thermique), le sec et l'humide (idée hygrométrique) ; il envisagea un impact possible de ceux-ci sur les fluides vitaux parcourant le corps (les humeurs). Etant entendu que ces mêmes facteurs étaient eux-mêmes dépendant des saisons, il distingua des pathologies de « saison froide » et de « saison chaude ». L'hétérogénéité spatiale des états de santé fut mise en lumière essentiellement lorsqu'il évoqua la notion d'exposition : exposition au soleil (notion d'opposition de versant) ou exposition au vent. L'importance de l'évocation de tels facteurs par Hippocrate s'explique par son origine grecque : la Grèce connaît des vents du nord violents et est caractérisée par un relief montagneux propre à l'ensemble de la côte nord méditerranéenne. Ces théories hippocratiques étaient caractérisées par un certain déterminisme climatique qui allait perdurer durant quelques siècles. Les travaux suivants de Galien allaient reprendre l'essentiel des théories d'Hippocrate.

Le Moyen-âge n'apporta guère d'avancées dans le domaine étiologique. La médecine néanmoins se diversifia tout en pérennisant l'héritage d'Hippocrate. De réelles avancées médicales allaient apparaître aux XVI^e et XVII^e suite aux travaux de Sydenham, de Paré etc... La connaissance anatomique marquait un bon en avant extraordinaire permettant, pour certaines maladies, d'envisager des mécanismes causaux. Malgré tout, certains penseurs évoquaient, encore après, une sorte de déterminisme climatique sur les hommes et leurs mœurs : c'est le cas de Bodin dans *La République* ou de Montesquieu dans *De l'Esprit des Lois* pour lesquels les variations du climat à l'échelle du globe pouvaient expliquer que des peuples soient « plus ou moins travailleurs » ou « plus ou moins prompts à instaurer une démocratie ».

Le XVIII^e siècle marqua en France un tournant dans l'histoire des relations climat santé sous l'impulsion des sociétés savantes. De nombreux travaux de « météorologie » (compilations de mesures notamment) furent entrepris par des médecins dans le but d'expliquer la saisonnalité de certaines maladies observées. Bien que généralement ponctuelles, ces études ouvrirent la voie en France à une entreprise de plus grande ampleur, en même temps que les premières occurrences du terme « géographie médicale » apparurent, les topographies médicales. Les topographies médicales, ces études des lieux et des hommes pour Rofort (1987), constituaient un des premiers essais d'étiologie géographique en ce sens qu'elles tentaient d'expliquer l'état de santé d'une population communale donnée à l'aide d'une étude du milieu tant physique que social. Le cadre conceptuel de ces topographies médicales, bien qu'appliqué à de petits espaces, fut une source d'inspiration non-négligeable dans le cadre de ce présent travail pour lequel les différences de risque de contraction de la grippe doivent s'expliquer par une hétérogénéité des milieux physiques et sociaux en France.

Le XIX^e siècle fut celui de la révolution pastorienne. Les travaux de Pasteur ont poussé à envisager préférentiellement la cause des maladies dans l'infiniment petit : les microbes, les virus. Partant de ce postulat, l'impact du milieu (social ou naturel) allait être déconsidéré : il n'expliquait plus, pour une large part de la communauté scientifique, les occurrences de maladies. Une question restait néanmoins en suspens : les bactéries étant présentes partout, pourquoi frappent-elles certains lieux à certains moments ? Pourquoi n'y-a-t'il pas une répartition homogène dans le temps et dans l'espace des maladies ? Pourquoi les gripes saisonnières intéressent la zone tempérée nord entre octobre et mars ? L'agent bactériologique ou viral est une condition nécessaire mais non suffisante à l'occurrence de la maladie infectieuse : un environnement favorable au microbe, une vulnérabilité de l'hôte, de bonnes conditions de transmission sont autant des conditions participant au développement et à la propagation des maladies. L'environnement (dans son acceptation la plus large), les populations hôtes, les conditions de transmission sont, par essence, hétérogènes. C'est dans le sillage de ce questionnement visant à expliquer la maladie par un corpus de facteurs différents que des géographes au sens académique se sont appropriés des thématiques médicales : la géographie des maladies. Max Sorre, dans son travail emblématique sur le complexe paludéen, montre que l'homme est la victime d'une association parasitaire d'êtres vivants dans des conditions spécifiques de transmission liées au milieu naturel et à ses modifications d'origine purement anthropiques. Il montre que la malaria, en dépit de facteurs physiques prédisposants, est également une affection sociale. Cette deuxième idée est fondamentale dans le cadre d'une thèse sur la grippe : le virus frappe théoriquement partout avec la même force.

Malgré tout, les conditions naturelles favorisent ou non son activité et les groupes de population (en fonction de leurs localisations) y sont plus ou moins exposés. Cette géographie portée sur l'objet « maladie » reste néanmoins marginale, « elle n'est toujours pas émancipée » pour reprendre les termes de Picheral. Durant les années 60, l'éclosion de notions telles qu'environnement, bien être, qualité de la vie, qui possèdent des signatures spatiales éminemment hétérogènes, pousse la communauté scientifique à introduire des variables géographiques dans l'étude des phénomènes de santé. En parallèle, les constats d'inégalités face à la maladie, de disparités d'accès au soin, du coût de la santé etc. élargissent encore les champs d'investigation potentiels pour glisser assez simplement d'une géographie des maladies à une géographie de la santé. Le développement de cette géographie fut un terreau fertile à l'origine de nouvelles approches : écologiques, comportementales, démographiques, sociologiques etc. ... Les liens avec l'épidémiologie furent, en outre, renouvelés dès lors que les deux disciplines ont établi un langage commun et délimité leurs périmètres d'intervention respectifs : c'est de cette connaissance mutuelle que peut naître l'interdisciplinarité.

La recherche de facteurs « naturels » influençant les états de santé, la distribution spatiale et temporelle des maladies fut peu à peu réactivée dans la seconde partie du XX^e siècle. Si l'origine de ce type de questionnement est clairement identifiable dès l'antiquité, l'interdisciplinarité épidémiologie-géographie et le contexte des changements environnementaux actuels a conduit la communauté scientifique à s'interroger de plus en plus sur les liens entre le climat, la maladie et la santé en général. Le climat devient facteur de risque : un risque « climatopathologique » pour Besancenot. Peut-on évoquer des situations climatiques à risque lorsque l'on s'intéresse à la grippe ?

Nous nous sommes attachés, dans la seconde partie de cette thèse, à évaluer les situations météorologiques types observées avant et lors du déclenchement des épidémies saisonnières de grippe. De nombreuses études en laboratoire ont montré que les virus grippaux sont stimulés par des conditions particulières de températures et d'humidité. Il nous a paru intéressant d'analyser cette conjonction de facteurs climato-météorologiques matérialisée par des types de temps particuliers et de quantifier la fréquence des déclenchements épidémiques qui suivent ces « types de temps à risque ». Plusieurs moments ont structuré cette partie. Il fut nécessaire de réaliser une banque de donnée climatique à partir des données de Météo-France. Nous avons analysé l'intégralité des bulletins météorologiques quotidiens des vingt deux dernières saisons froides. Un panel de facteurs météorologiques a

été choisi sur la base des éléments caractérisant le mieux un type de temps. Travaillant à une échelle très large, nous distinguons une France du nord et du sud quotidiennement sur la base des paramètres suivants : températures (min/max), précipitations, nébulosité, flux d'altitude et pression atmosphérique (distinction anticyclonique/dépressionnaire). Ces données furent ensuite quantifiées sous la forme d'indices puis moyennées à la semaine. Nous avons parfaitement conscience de la perte d'information générée par le calcul de la moyenne tout comme de l'approximation engendrée par l'analyse de cartes comme bases d'une quantification. Il s'agissait plus de s'intéresser aux changements et aux rythmes de ces changements plus qu'à une analyse fine des variations paramètres par paramètres. La première idée fut de réaliser des calendriers climatiques afin d'observer « le temps qu'il fait » lors du déclenchement des épidémies de grippe. Il fallut, en outre, redéfinir le déclenchement épidémique. S'il est défini précisément par des modèles mathématiques, le déclenchement officiel intervient postérieurement à l'accélération de la courbe d'incidence : un nouveau critère basé sur cette variation relative de la courbe d'incidence fut calculé. Il s'agissait de faire correspondre la réalité climatique avec le contexte épidémiologique. Dès lors que le déclenchement épidémique fut redéfini, nous pouvions analyser attentivement les paramètres climato-météorologiques et leur évolution dans une fenêtre temporelle restreinte avant l'épidémie. L'étude paramètre par paramètre n'a abouti qu'à des niveaux de corrélations assez faibles avec les données épidémiologiques, si ce n'est avec la température. Ce paramètre fut donc la porte d'entrée à une deuxième séquence analytique. Il apparut assez rapidement que nous ne pouvions pas dégager un seuil de baisse thermique supposé déclencheur. La température devait jouer mais pas de la manière dont nous aurions pu le supposer : le froid n'est pas l'élément déclencheur. En effet, si l'on s'en réfère à l'abondant corpus biomédical, le virus « survie » mieux à température basse ($<5^{\circ}\text{C}$) or ces conditions sont monnaies courantes durant la saison froide à nos latitudes. En outre, les premières gelées ne sont pas nécessairement synonymes de déclenchement épidémique. Finalement, après un travail exploratoire sur les courbes de température et d'incidence grippale, nous avons mis en lumière que l'immense majorité des semaines de déclenchement épidémique sont immédiatement précédées par une baisse thermique d'ampleur variable. Cette baisse de température serait donc un élément nécessaire mais non suffisant au déclenchement épidémique. Ce résultat, peu surprenant de prime abord, tend à démontrer que le déclenchement épidémique n'est pas tributaire d'un seuil thermique et doit être mis en lien avec des baisses de température. En outre, l'ensemble des éléments du temps forme un tout inter-relié. Une baisse de température n'est pas un élément isolé mais la signature d'un

changement global de l'ensemble des paramètres. C'est dans cette optique que nous avons décidé d'intégrer l'ensemble des paramètres climato-météorologiques au sein d'une même classification afin de déceler de la régularité dans l'apparent désordre des calendriers climatiques. En regroupant à trois, deux puis une semaine avant l'épidémie l'ensemble des paramètres, il fut possible de mettre en avant deux types de temps préférentiels en période pré-épidémique : ces types de temps expliquent la baisse de température observée. La vague de froid par type de temps anticyclonique ainsi que le temps perturbé dans un flux de nord-ouest semblent les types de temps généralement observés avant le déclenchement des épidémies saisonnières de grippe. Une analyse plus fine de ces semaines pré-épidémiques montre finalement que la baisse de température est à mettre à l'actif d'un basculement du flux d'une composante majoritairement zonale à une composante méridienne. Les semaines pour lesquelles les types de temps majoritaires sont perturbés dans un flux de nord-ouest ne voient clairement leurs températures baisser que lors d'un basculement du flux que la moyenne hebdomadaire occulte. Le temps de temps associé au déclenchement épidémique semble donc être donc la vague de froid par type de temps anticyclonique. Il devient alors possible de différencier les régions plus ou moins soumises à ces types de temps : un gradient de continentalité est alors observé. Les régions du nord et du nord-est de France métropolitaine connaissent le plus ces types de temps et devraient selon toute vraisemblance être caractérisées par une certaine précocité des déclenchements épidémiques régionaux. Nous le voyons, le climat semble ainsi une condition nécessaire mais non suffisante pour expliquer les différences observées dans les régions de France en terme de moyenne d'incidence grippale. En effet, si nombre de régions du nord et de l'est sont caractérisées par des niveaux moyens élevés d'incidence grippale, comment expliquer que des régions comme la Bretagne ou Provence-Alpes-Côte-D'azur connaissent des niveaux comparables ? C'est l'objet de la troisième partie.

Le climat semble accroître l'aléa, rend les populations plus ou moins vulnérables : celui-ci peut être spatialisé afin de rendre compte de son hétérogénéité qui devrait aboutir à une inégale probabilité d'exposition à la grippe. L'analyse d'une carte de l'incidence grippale moyenne par région associée à l'idée directrice que la maladie est également une affection sociale doit nous pousser à ne pas négliger les facteurs sociaux, économiques, culturels ou démographiques dans l'explication des différences observées. Une liste (appelée à être complétée) de facteurs jugés augmenter la promiscuité, moteur de la diffusion et donc de l'augmentation de l'incidence grippale a été réalisée. Des variables dites « structurelles » relatives à l'équipement en infrastructures où ont lieu d'importants brassages de populations,

ou intégrant également des données de migrations furent listées. D'autre part, des variables relatives aux individus, à la structure démographique ont été compilées. Ces facteurs de vulnérabilité individuelle et structurelle ont ensuite été compilés sous la forme d'indices qui furent cartographiés. Dans un dernier temps, ces deux indices ont été cumulés pour former un indice global de vulnérabilité à la grippe. Sans réelle valeur mathématique, cet indice permet néanmoins d'avoir une idée des régions qui cumulent le plus de facteurs aggravants en terme de vulnérabilité à la grippe. En compilant la carte des régions les plus exposées aux vagues de froid et celle de cet indice global de vulnérabilité, il devient possible de cartographier le risque grippal au sens géographique du terme (Fig. n°111).

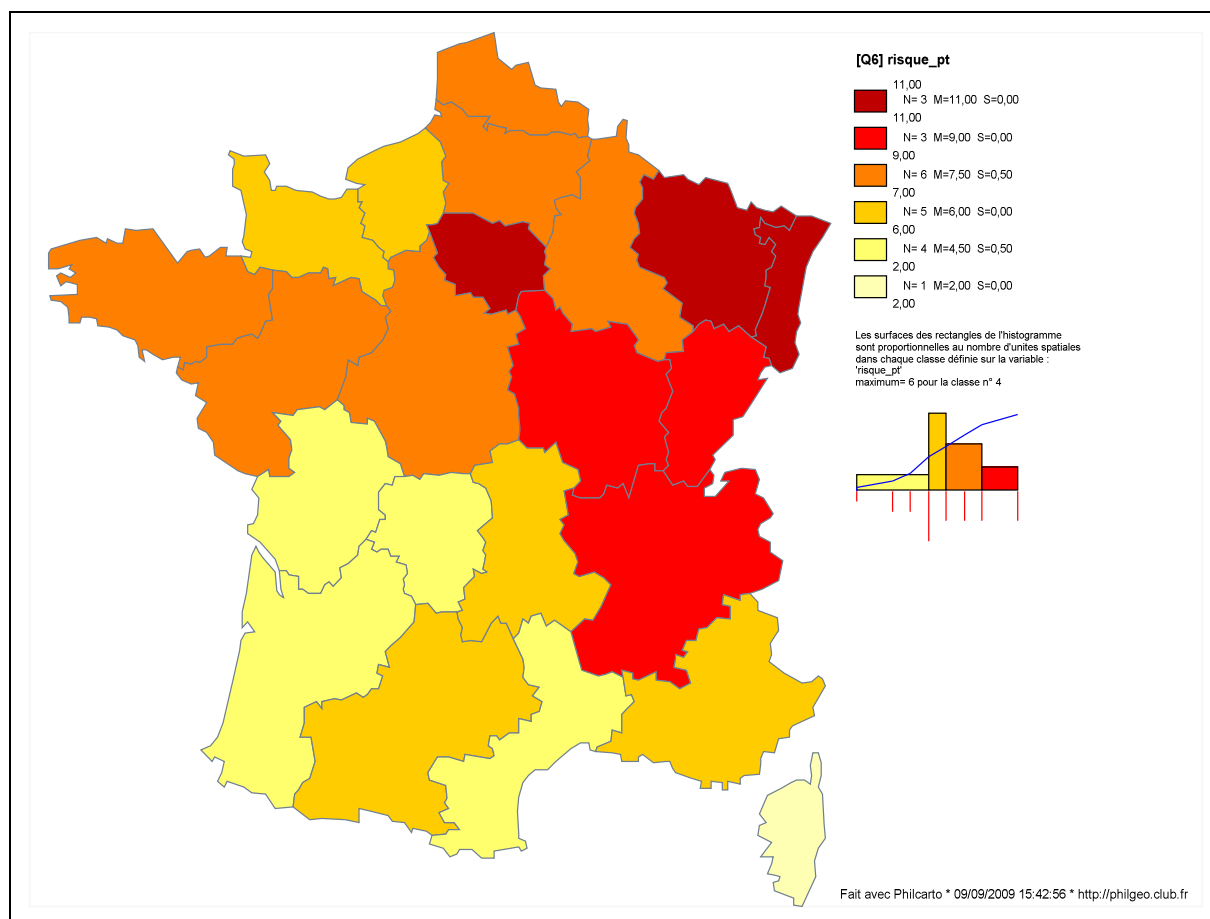


Fig. n°111 : Le risque grippal en France métropolitaine

Afin de réaliser cette carte, nous avons alloué à chacune des régions un nombre de points relatif à son rang dans la hiérarchie de la vulnérabilité globale tout comme dans l'exposition aux vagues de froid. La comparaison avec la carte des taux moyens régionaux d'incidence grippale (Fig n°72 p.224) montre néanmoins quelques différences importantes. Le gradient

nord-est/sud-ouest observé sur la carte du risque grippal n'est pas si net au regard des taux d'incidence. Il est vraisemblable qu'un poids trop important a été accordé au climat dans cette carte du risque : une pondération serait nécessaire. De la même manière, certains facteurs de vulnérabilité nous ont certainement conduits à sur-évaluer certaines régions : l'Ile-de-France notamment. Néanmoins, après quelques tâtonnements, un essai de modélisation du taux d'incidence grippal moyen régional s'avéra concluant et ne peut que nous encourager ultérieurement à affiner le modèle en intégrant notamment les variables qui n'ont pas pu être incorporées.

Ainsi, il n'y a pas d'épidémies banales : l'actualité se charge de nous le rappeler. Analyser des épidémies par le prisme du risque vu par un géographe ne conduit pas à une quantification de ce risque mais le spatiale après un questionnement sur les facteurs de vulnérabilité. L'échelle régionale était bien trop vaste, ceci a probablement joué sur la qualité du modèle généré tout comme la problématique climatique ne prendrait un réel sens qu'à des échelles spatiales et temporelles plus fines. Néanmoins, cet essai d'analyse du risque grippal est un appel à une inter-disciplinarité renouvelée et conforte modestement mais avec conviction la place de la géographie dans les études de santé.

TABLE DES FIGURES

| Figure n° | Titre | Page |
|-----------|---|------|
| 1 | Changements dans la distribution des maladies en Suède des années 1910 à 1960 | 16 |
| 2 | Fou et Dieu | 25 |
| 3 | La danse de la mort | 27 |
| 4 | Création de la société royale d'agriculture consécutive à l'arrêt du 1 ^{er} mars 1761 | 37 |
| 5 | Couverture de la topographie médicale de Paris par C. Lachaise, 1822 | 39 |
| 6 | Topographies médicales communales (1756 – 1895) | 43 |
| 7 | Anciennes régions paludéennes en France | 54 |
| 8 | Détail de la tapisserie de Bayeux rappelant l'apparition de la comète de Halley en avril 1066 et l'invasion de l'Angleterre par Guillaume | 72 |
| 9 | Les différents types de risques et leurs interactions | 76 |
| 10 | La surveillance Sentinelles dans les communes françaises | 95 |
| 11 | La France de la population (A) et la France des cas de grippe en 2006 (B), deux représentations superposables | 97 |
| 12 | Schéma illustratif de la participation hebdomadaire d'un médecin Sentinelles | 97 |
| 13 | Schéma illustratif de la contribution d'un médecin Sentinelles | 98 |
| 14 | Somme permettant le redressement des cas nationaux sur la base des cas régionaux | 99 |
| 15 | Seuil épidémique fixé par la méthode de Serfling depuis la création du réseau Sentinelles | 100 |
| 16 | Des épidémies de grippe d'ampleurs variables | 101 |
| 17 | Carte d'activité épidémique de la grippe ; exemple de la semaine 3 de 1985 | 103 |
| 18 | Représentation en anamorphose de la propagation épidémique lors de l'épidémie de 1999-2000 | 104 |
| 19 | Effectifs des médecins participant au cours de la période d'activité du réseau Sentinelles | 106 |
| 20 | Répartition des médecins Sentinelles sur le territoire métropolitain de 1984 à 1995 | 109 |
| 21 | Répartition des médecins Sentinelles sur le territoire métropolitain de 1996 à 2007 | 110 |
| 22 | Nombre de médecins Sentinelles par habitants pour les années 1985, 1988, 1992 et 2006 | 112 |

| | | |
|----|---|-----|
| 23 | Représentativité des médecins Sentinelles au sein des médecins généralistes libéraux en activité pour quatre années tests | 115 |
| 24 | La situation épidémique à la semaine 45 (mi-novembre) de 2003 | 128 |
| 25 | L'incidence grippale déjà ascendante avant le dépassement du Serfling | 129 |
| 26 | Evolution de Se et Sp en fonction de $\Delta i/i$ | 135 |
| 27 | Novembre et janvier, les deux mois préférentiels du déclenchement épidémique | 136 |
| 28 | Baisse de température antérieure au déclenchement épidémique lors de la saison 1999-2000 | 139 |
| 29 | Evolution des odds ratio en fonction de la valeur du critère d'accélération | 143 |
| 30 | Incidence – températures, une relation significative | 144 |
| 31 | Evolution temporelle de la corrélation Flux Incidence sur deux échantillons (1988-89 et 1997-98) | 147 |
| 32 | Nébulosité Incidence, une relation différente entre les épidémies de novembre et de janvier | 151 |
| 33 | Précipitations Incidence, une relation différente entre les épidémies de novembre et de janvier | 151 |
| 34 | Evolution du taux d'incidence grippale lors de l'hiver 1999 – 2000 en France | 153 |
| 35 | Cartes d'activité épidémiologique de la grippe (semaine 44 à semaine 49-1999) | 153 |
| 36 | La baisse s'amorce dans le sud-est | 156 |
| 37 | Une coulée froide arrive du nord et de l'est | 157 |
| 38 | La coulée froide atteint le sud-ouest | 158 |
| 39 | La température se stabilise | 159 |
| 40 | La température remonte | 160 |
| 41 | L'humidité relative minimale par départements les 4, 8, 12 et 16 novembre 1999 | 161 |
| 42 | L'humidité relative minimale par départements les 20 et 24 novembre 1999 | 162 |
| 43 | Illustration d'un flux de nord-ouest | 165 |
| 44 | Illustration d'un flux de nord | 166 |
| 45 | Illustration d'un flux de nord-est | 166 |
| 46 | Sortie SAS – Classification autour des centres mobiles pour l'ensemble des 3 semaines avant le déclenchement épidémique (toutes saisons confondues) | 168 |
| 47 | Sortie SAS – Classification autour des centres mobiles pour l'ensemble des 2 semaines avant le déclenchement épidémique (toutes saisons confondues) | 169 |
| 48 | Sortie SAS - Classification autour des centres mobiles 1 semaine avant le déclenchement épidémique (toutes saisons confondues) | 170 |
| 49 | Variation de la direction du Jet-stream à l'échelle hebdomadaire (Exemple de la 2ème semaine de 1991) | 171 |

| | | |
|----|--|-----|
| 50 | Les 24 gouvernorats tunisiens | 173 |
| 51 | L'épidémie de grippe saisonnière 2004-2005 en Tunisie | 174 |
| 52 | Baisse de température et augmentation des cas de grippe en Tunisie en 2004-2005 | 175 |
| 53 | Sortie XL-Stats - Corrélation T°C Min Moyenne Hebdo/Indicateur Global | 176 |
| 54 | Sortie XL-Stats - Corrélation T°C Max Moyenne Hebdo/Indicateur Global | 177 |
| 55 | Situation en altitude sur l'Europe de l'ouest et le Maghreb le 26 janvier 2005 | 178 |
| 56 | Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (octobre 2004) | 180 |
| 57 | Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (novembre 2004) | 180 |
| 58 | Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (décembre 2004) | 181 |
| 59 | Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (janvier 2005) | 181 |
| 60 | Répartition des cas de grippe par semaine en Tunisie (février-mars 2005) | 182 |
| 61 | Températures minimales à Paris Montsouris (novembre à mars, 1946-2006) | 200 |
| 62 | Nombre annuel de jours avec gelée, Paris Montsouris (1875-2001) | 200 |
| 63 | Température moyenne de janvier réduite au niveau de la mer | 201 |
| 64 | Pourcentage du nombre de jours froids en Europe de l'Ouest (calculés sur les 16 événements froids les plus significatifs entre 1952 et 1987) | 202 |
| 65 | Trajectoire et nombre de jours de progression des vagues de froid par type de circulation | 203 |
| 66 | Le découpage climatique de la France d'après l'atlas climatique de Météo France | 205 |
| 67 | Le découpage climatique de la France d'après un site internet non-institutionnel de climatologie | 206 |
| 68 | Les températures minimales réelles de janvier | 210 |
| 69 | Nombre de jours de gelées par an et températures moyennes annuelles de principales stations d'îles de France | 211 |
| 70 | Moyenne des incidences sur les deux premières semaines de l'épidémie (Toutes années confondues) | 213 |
| 71 | Le pourcentage de jours froids par régions | 215 |
| 72 | Moyennes hebdomadaires régionales de l'incidence grippale | 224 |
| 73 | Nombre de décès hebdomadaires en Europe de l'ouest lors de l'épidémie de grippe de l'hiver 1889 – 1890 | 225 |
| 74 | Représentation en anamorphose des incidences régionales de la grippe lors de quatre semaines types de la saison 1999-2000 | 227 |
| 75 | Des régions plus précocement touchées par l'épidémie saisonnière de grippe | 229 |
| 76 | Nombre de cas de grippe et densité de population : une relation fortement significative | 231 |
| 77 | Le nombre de lit d'hôpitaux par habitants | 236 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 78 | Implantation régionale des grandes entreprises | 238 |
| 79 | Les inscrits dans un établissement d'enseignement supérieur par rapport à la tranche d'âge 20-24 ans à l'échelle des régions | 239 |
| 80 | Les grandes surfaces alimentaires dans les régions | 240 |
| 81 | Populations et densités régionales en France en 2006 | 241 |
| 82 | Soldes touristiques régionaux en 2004 d'octobre à mars | 242 |
| 83 | L'activité épidémique en France à la mi février 1991 | 243 |
| 84 | L'importance du trafic aéroportuaire dans les régions françaises et les dessertes hors-schengen | 244 |
| 85 | Les nœuds ferroviaires en régions | 245 |
| 86 | Codage des migrations frontalières | 246 |
| 87 | L'arrivée de la grippe par l'est | 247 |
| 88 | Deux épidémies débutant en Bretagne (1999-2000 / 2003-2004) | 248 |
| 89 | Les moins de 20 ans en France | 249 |
| 90 | Les familles d'au moins trois personnes en France | 250 |
| 91 | La population active ayant un emploi en France | 251 |
| 92 | Les plus de 60 ans en France | 252 |
| 93 | Pourcentage des résidences principales équipées de deux voitures en France | 254 |
| 94 | Nombre d'allocataires du RMI pour 1 000 habitants en France à l'échelle régionale | 255 |
| 95 | Synthèse cartographique des facteurs de vulnérabilité structurelle | 256 |
| 96 | Corrélation incidence/indice de vulnérabilité liée aux lieux | 257 |
| 97 | Synthèse cartographique des facteurs de vulnérabilité individuelle | 258 |
| 98 | Corrélation incidence/indice de vulnérabilité liée aux individus | 259 |
| 99 | Synthèse cartographique de l'ensemble des facteurs de vulnérabilité | 260 |
| 100 | Nuage de point « incidence-vulnérabilité » | 261 |
| 101 | Corrélation incidence-vulnérabilité (avec Ile-de-France) | 262 |
| 102 | Corrélation incidence-vulnérabilité (sans Ile-de-France) | 262 |
| 103 | Le cercle des corrélations entre les variables et les facteurs | 275 |
| 104 | Représentation des régions sur un plan factoriel | 277 |
| 105 | L'équation du modèle générée par XL-Stats | 281 |
| 106 | Histogramme des résidus centrés-réduits | 282 |
| 107 | Nuage de points Résidus normalisés/Incidence moyenne | 282 |
| 108 | Les résidus standards suivent une loi Normale | 283 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 109 | Nuage de points - Incidence prédite/Incidence observée | 284 |
| 110 | Représentation cartographique des résidus standards de la régression | 285 |
| 111 | Le risque grippal en France métropolitaine | 295 |

LISTE DES TABLEAUX

| Tableau n° | Titre | Page |
|------------|---|------|
| 1 | Les quatre humeurs de la médecine coaque | 21 |
| 2 | Principales caractéristiques des épidémies de grippe en France métropolitaine depuis 1984 | 102 |
| 3 | Corrélations « nombre de médecins – nombre de cas » à l'échelle des régions | 107 |
| 4 | ONA/grippe : une relation statistique de faible significativité | 125 |
| 5 | Détermination de l'accélération de la courbe d'incidence pour la saison 1984 - 1985 | 130 |
| 6 | Les quatre cas de figure permettant les calculs de qualité du critère | 132 |
| 7 | Variation de Se et Sp en fonction de la valeur du critère et de la distance au Serfling | 134 |
| 8 | Evolution thermique et départ épidémique | 140 |
| 9 | Odds ratio en fonction de la valeur de seuil d'accélération en considérant la baisse de température sous 1, 2 et 3 semaines | 142 |
| 10 | Orientation du flux d'altitude pendant la semaine de départ épidémique et durant les 14 jours précédents | 145 |
| 11 | Répartition des flux en période pré épidémique | 146 |
| 12 | Evolution de l'indice d'ONA en période pré-épidémique | 148 |
| 13 | Nébulosité et pluviométrie en période pré épidémique | 149 |
| 14 | Périodes pré épidémiques pluvieuses/couvertes majoritaires | 150 |
| 15 | Températures mensuelles de Tunis Carthage en 2004-2005 comparées aux moyennes trentenaires (en °C) | 172 |
| 16 | Evolution temporelle des corrélations épidémio-démographiques | 231 |
| 17 | Des variables structurelles corrélées avec la densité ? | 263 |
| 18 | Statistiques descriptives des variables quantitatives de l'analyse de covariance | 266 |
| 19 | Présentation des modalités des variables qualitatives intégrées dans l'analyse | 267 |
| 20 | Statistiques relatives à l'ajustement du modèle de régression | 268 |
| 21 | Tableau d'analyse de la variance | 268 |
| 22 | Contribution de chaque variable au modèle | 269 |
| 23 | Statistiques descriptives des variables de l'ACP | 271 |
| 24 | La matrice des corrélations de l'ACP | 272 |
| 25 | Pourcentages de trois tranches d'âge dans les régions françaises | 273 |
| 26 | L'information prise en compte par les facteurs | 274 |

| | | |
|----|--|-----|
| 27 | Corrélations entre les variables et les facteurs | 275 |
| 28 | Coordonnées des régions sur les axes | 276 |
| 29 | Statistiques descriptives des variables de l'ANOVA | 279 |
| 30 | Statistiques relatives à l'ajustement du modèle de régression dans le cadre de l'ANOVA | 280 |
| 31 | Tableau d'analyse de la variance (ANOVA) | 280 |
| 32 | Résultats du test de Kolmogorov-Smirnov | 283 |

Bibliographie thématique

Perspectives historiques

Atkinson G. *Les nouveaux horizons de la Renaissance française*. Paris : E.Droz, 1935, 502p.

Berding H, François E, Ullman H P. *La Révolution, la France et l'Allemagne : deux modèles opposés de changement social ?* Paris : éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1989, 423p.

Broc N. *La géographie de la Renaissance*. Paris : éditions du Comité des Travaux historiques et scientifiques, 1986, 261p.

Damiens J. La météorologie au XIXe siècle. *La Météorologie*. 1987, numéro de mars, p.18-29.

Damiens J La prévision du temps à ses débuts. *La Météorologie*, 1982, numéro de mars, p.81-83.

De Félice P. *L'histoire de la climatologie*. Paris, Budapest, Kinshasa : l'Harmattan, 2006, 138p.

Febvre L, Bataillon L. *La Terre et l'évolution humaine*. Paris : éditions du livre rouge, 1927, 472p.

Fierro A. *L'histoire de la météorologie*. Paris : Denoël, 1991, 315p.

Hippocrate (dir. Jouanna J. Magdelaine C.) *L'art de la médecine* Paris : Flammarion, 1999, 363p.

Millot J Lester P. *Les races humaines*. Paris : A.Colin, 1936, 223p.

Moulin A. Le dialogue médical franco-persan au XIXe siècle. *Sciences, techniques et instruments dans le monde iranien (Xe-XIXème siècles)*. Vol. 1, p.305-329.

Nicolle C. *Naissance, vie et mort des maladies infectieuses*. Paris : Félix Alcan, 1930, 222p.

Noël-Waldteufel M. La mise en place des réseaux d'observation météorologique dans les écoles normales d'instituteurs. *La météorologie*. 1995, numéro d'avril, p.11-15.

Noël-Waldteufel M. La météorologie entre science et savoir. L'affaire Mathieu de la Drôme. *Etudes Rurales*, 1990, avril-septembre, 118-119, p.59-68.

Pelosse V. Observations météorologiques et sociétés savantes de province ou la désignation du bon objet scientifique, *Etudes Rurales*, 1990, avril-septembre, 118-119, p.69-81.

Rauch A. *Histoire de la santé*. Paris : PUF, 1995, 127p (Que sais-je ?).

Roy J R. *L'astronomie et son histoire*. Paris : Masson, 1982, 665p.

Staszak J F. *Météores et climats dans la pensée grecque - les Présocratiques, Hippocrate, Aristote -, essai d'ethnogéographie historique : la tête dans les nuages et les pieds sur terre*, XXp. thèse : Géographie, Université Paris 1 : 1995.

Stoessel M. *Histoire des doctrines politiques : cours du professeur Ivo Rens à l'Université de Genève (1998 - 1999)*.1999 [réf du 6 février 2000], disponible sur : <http://www.stoessel.ch/hei/hdp/>

Vallin J. Evolution de la mortalité depuis 1920, *La société française : données sociales*, Paris : INSEE, 1993, p.238-240.

Villermé L R. Mémoire sur la mortalité dans les prisons, *Annales d'hygiène publique et de médecine légale*, n°1, 1829, p.1-100.

Villermé L R. *Tableau de l'état physique et moral des ouvriers employés dans les manufactures de coton, de laine et de soie Paris*. Paris : Jules Renouard, 1840, 191p.

La thématique du risque

Beck U. *La Société du risque - Sur la voie d'une autre modernité*. Paris : Flammarion, 2003, 522p. (Collection Champs)

Besancenot J P. *Risques pathologiques, rythmes et paroxysmes climatiques*. Paris : John Libbey Eurotext, 1992, 413p.

Dauphiné A. *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Paris : A.Colin, 2000, 288p.

Delécraz C., Durussel L. *Scénario catastrophe*. Genève : Infolio, 2007, 345p.

Douglas M., Wildavsky A. *Risk and Culture, an Essay on the Selection of Technical and Environmental Dangers*. Berkeley : University of California Press, 1983, 221p.

Douglas M., Wildavski A. Risque et Culture. *Sociétés*, 2003, n°77, pp 17-19.

Dupont Y. *Dictionnaire des risques*. Paris : A. Colin, 2007, 568p.

Ewald F. *L'Etat providence*. Paris : Grasset, 1986, 608p.

Ewald F. *Le principe de précaution*. Paris : PUF, 2009, 128p. (Que-sais-je ?)

Favier R. *Les pouvoirs publics face aux risques naturels dans l'histoire*. Grenoble : CNRS - MSH Alpes, 2002, 444p.

Giddens A. *Les conséquences de la modernité*. Paris : L'Harmattan, 1991, 190p.

Guilhou X, Lagadec P. *La fin du risque zéro*. Paris : Editions d'Organisation, 2002, 336p.

Kerven G Y., Rubise P. *L'archipel du danger*. Paris : Economica, 1991, 444p.

Kessler D. Eswald F. Les noces du risque et de la politique, *Le débat*, n° 109, mars/avril 2000, pp. 55-72

Lamarre D, Favier R, Bourg D, Marchand J P. *Les risques climatiques*, Paris : Belin, 2005, 223p. (Collection Belin Sup)

Lamarre D. *Climats et risques, changements d'approche*. Paris : Editions TEC DOC, 2008, 170p.

Lamarre D. *Les risques liés au climat*. Dijon : éditions de l'université de Dijon, 1996, 215p.

Moriniaux V (coordination). *Les risques*. Nantes : Editions du temps, 2003, 256p. (Questions de géographie)

Peretti Watel P. *Sociologie du risque*. Paris : A. Colin, 2000, 286p.

Tabeaud M. Browaey X. *Le citoyen a droit à l'information sur les risques*, Actes du colloque de Montpellier « La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles », 8/2/2005, volume 2, Géorisques, pp. 111-119.

Veyret Y, Beucher S, Reghezza M. *Les risques*. Rosny sous Bois. : Bréal, 2004, 205p.

Veyret Y, Bost F. *Les risques*. Paris : Sedes, 2003, 255p. (Collection Dossiers des Images)

Wackermann G. *La géographie des risques dans le monde*. Paris : Ellipses, 2004, 511p.

Géographie des maladies, géographie médicale, géographie de la santé

Amat-Roze J M. Emergence des maladies infectieuses Outre Mer "tout est affaire de circonstance. *Bull Acad Natl Med*, 2007, n°19, pp.1551-1561.

Bailly A. *La géographie du bien-être*. Paris : PUF, 1981, 239p.

Barrett F. *Disease and geography: the story of an idea*. Toronto : York University, .Monographs Geographical, 2000, 570p.

Barrett, F. (1984), The origins of medical geography in France, in Montpellier Université Paul Valéry, ed., 'Symposium International de Géographie de la Santé', pp. 1-7.

Bordier A. *La géographie médicale*. Paris : Reinwald, 1884, 657p.

Boudin J. *Essai de géographie médicale, ou étude des lois qui président à la distribution géographique des maladies ainsi qu'à leurs rapports topographiques entre elles, lois de coïncidence et d'antagonisme*. Paris : éditions Baillière, 1843, 104p.

Curtis S., Taket A. *Health and societies: changing perspectives*. London : Arnold editions, 1996, 358p.

Evans et al. *Etre ou ne pas être en bonne santé*. Montrouge : John-Libbey-Eurotext, 1996, 359p.

Finke L L. *Versuch einer allgemeinen medicinisch-praktischen Geographie*, Leipzig: Weidmann, 1792–1795

Fromageot A., Coppieters Y., Parent F., Lagasse R. Épidémiologie et géographie : une interdisciplinarité à développer pour l'analyse des relations entre santé et environnement. *Environnement, Risques et Santé*, 2005, 4(6), pp. 395-403.

Grmek M. Géographie médicale et histoire des civilisations. *Economies, société, civilisations*, 1963, n°6, pp. 1071-1097.

Guérin N. Histoire de la vaccination : de l'empirisme aux vaccins recombinants, *La Revue de médecine interne*, 2007, n°28, pp. 3-8.

Haggett P. *The geographical structure of epidemics*. Oxford, New York : Oxford University Press, 2000, 168p.

Henschen F. *The history and geography of diseases*. New York : a Seymour Lawrence book, Dela Corte Press Press, 1966, 312p.

Hirsch A. *Manuel de pathologie géographique et historique*. 2 volumes. Stuttgart : Erlangen, F. Enke, 1864.

Howe G. *People, environment, disease and death: a medical geography of Britain throughout the ages*. Cardiff : University of Wales Press, 1972, 328p.

Howe G., Lorraine J A. *Environmental medicine*. London : J.Heinemann books, 1973, 271p.

Kearns R. The place of health in the health of the place: the case of the Hokranga special medical district, *Social science and medicine*, 1991, 33(4), pp. 519-530.

Lefevre J. *Chaleur animale et bio-énergétique*. Paris, Masson, 1911, 1107p.

May J. *The ecology of human disease*. New York : M. Publications, 1958, 327p.

Meade M., Earickson R. *Medical Geography*. New York : G. Press editions, 2000, 501p.

Ménard B. Questions de géographie de la santé. *L'espace géographique*, 2000, n° 3, pp. 264-275.

Picheral H. *Mots et concepts de la géographie de la santé*. Montpellier : Geos, 1985, 39p.

Picheral H. Géographie médicale, géographie des maladies, géographie de la santé. *L'espace géographique*, 1982, n° 3, pp.161-175.

Picheral H. *Géographie* In Brucker B., Fassin D., 1989, pp. 88-109.

Picheral H. Salem G. De la géographie médicale à la géographie de la santé : bilan et tendances de la géographie française (1960-1991), *Cahier Geos*, 1992, n°22, 45p.

Poirier J. Salaün F. *Médecin ou malade ? : La médecine en France aux XIXe et XXe siècles*. Paris : Elsevier Masson, 2001, 321p.

Rofort M F. Les topographies médicales aux XVIIIe et XIXe siècles : aux origines de l'épidémiologie, de la géographie des maladies et de la santé, *Cahiers Géos*, 1988, n°11, 40p.

Rofort M F. *Les Topographies médicales : une géographie des maladies et de la santé aux XVIIIe et XIXe siècles*, Thèse : géographie. 2 volumes. Université Paris VII : 1989.

Rosenberg, M. Linking the geographical, the medical and the political in analysing health care delivery systems, *Social science and medicine*, 1988, 26(1), pp. 179-186.

Salem G. *La santé dans la ville : géographie d'un petit espace dense : Pikine*. Paris : éditions Karthala, 1998, 360p.

Salem G., Rican S. *Atlas de la santé en France: Les Causes de décès*. Montrouge : John Libbey Eurotext, 2000, 189p.

Salem G. , Vaillant Z. *Atlas mondial de la santé, quelles inégalités, quelle globalisation ?* Paris : Autrement, 2008, 79p. (Mini Atlas)

Sorre M. *Les fondements biologiques de la géographie humaine*. Paris : A. Colin, 1943, 440p.

Sorre M. Complexes pathogènes et géographie médicale. *Annales de Géographie*, 1933, n°42, pp. 1-18.

Thouez J P. *Santé, Maladies et Environnement*. Paris : Economica - Anthropos, 2005, 137p.

Vignerot E. La géographie de la santé : un agenda qui se précise. *Espace, populations, sociétés*, 1995, n°1, pp. 31-41.

Whitehead M. *et al. In Inequalities in Health : the Black Report*. New-York : Penguin Books, 1982, 464p.

Liens Environnement - Santé

Alvarez F., Lysaniuk B., Tabeaud M., Flahault A. A simple and reliable method to real-time prediction of influenza outbreaks. In: *International Meeting on Emerging Diseases and Surveillance*. 2007. Disponible : http://www.isid.org/Downloads/IMED2007_AbstrAuth.pdf

Anyamba A., Chretien J., Small J., Tucker C J., Linthicum K J. Developing global climate anomalies suggest potential disease risks for 2006-2007. *Int J Health Geogr*, 2006, n°5: 60, doi:10.1186/1476-072X-5-60

Beggs P J., Bambrick H J. Is the global rise of asthma an early impact of anthropogenic climate change?. *Environ Health Perspect*, 2005, 113, pp. 915-919

Bentley M. Healthy Cities, local environmental action and climate change. *Health Promot Int*, 2007, 22, p.246-253.

Besancenot J P. *Notre santé à l'épreuve du changement climatique*. Paris : Delachaux et Niestlé, 2007, 222p.

Besancenot J P. La climatologie biologique et médicale en France : 1853-2003. *La presse thermale et climatique*, 2003, n°140, pp. 63-84.

Besancenot J P. *Climat et santé*. Paris : PUF, 2001, 127p.

Besancenot J P. Vague de chaleur, pollution atmosphérique et surmortalité urbaine: l'exemple d'Athènes en juillet 1987. In: *Climat, pollution atmosphérique et santé*, 1996, GDR Climat Santé, Dijon, pp 47-70.

Besancenot J P. Sécheresse et santé. *Sécheresse*, 1992, 3(4), pp. 209-210.

Brücker G. Vulnerable populations: lessons learnt from the summer 2003 heat waves in Europe. *Euro Surveill*, 2005, 10(7), p.551

Campbell-Lendrum D., Corvalan C., Neira M. Global climate change: implications for international public health policy. *Bull World Health Organ*, 2007, n°85, pp. 235-237.

Cannell, J J., Vieth R., Umhau J C., Holick M F., Grant W B., Madronich S., Garland C F., Giovannucci E. Epidemic influenza and vitamin D. *Epidemiol Infect*, 2006, 134(6), pp. 1129-1140.

Carson C., Hajat S., Armstrong B., Wilkinson P. Declining vulnerability to temperature-related mortality in London over the 20th century., *Am J Epidemiol*, 2006, 164(1), pp. 77-84.

Chaves L F., Pascual M. Climate cycles and forecasts of cutaneous leishmaniasis, a nonstationary vector-borne disease. *PLoS Med*, 2006, 3(8): e295. doi:10.1371/journal.pmed.0030295

D'Amato G., Liccardi G., Frenguelli G. Thunderstorm-asthma and pollen allergy. *Allergy*, 2007, n°62, pp. 11-16

Donaldson G C., Keatinge W R. Early increases in ischaemic heart disease mortality dissociated from and later changes associated with respiratory mortality after cold weather in south east England. *J Epidemiol Community Health*, 1997, 51(6), pp. 643-648.

Dowell S F. Seasonal variation in host susceptibility and cycles of certain infectious diseases. *Emerg Infect Dis*, 2001, 7(3), pp. 369-374.

Eccles R. Acute cooling of the body surface and the common cold. *Rhinology*, 2002, 40(3), pp. 109-114.

Eccles R. An explanation for the seasonality of acute upper respiratory tract viral infections. *Acta Otolaryngol*, 2002, 122(2), pp. 183-191.

Erling V., Jalil, F., Hanson L A., Zaman S. The impact of climate on the prevalence of respiratory tract infections in early childhood in Lahore, Pakistan. *J Public Health Med* , 1999, 21(3), pp. 331-339.

Fernandez de Arroyabe Hernaez P. Climate, weather and flu diagnoses incidence in the region of Santander (Northern Spain) during the 1999-2000 epidemic diffusion period. *Aerobiologia*, 2004, 20, pp. 223-228

Folk G E. The relationship between environmental physiology and biometeorology. *Int J Biometeorol*, 1997, 40(1), p.41.

Fouillet A., Rey G., Laurent F., Pavillon G., Bellec S., Guihenneuc-Jouyaux C., Clavel J., Jouglu E., Hémon D. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *Int Arch Occup Environ Health*, 2006, 80, pp.16-24.

Grassly N C., Fraser C. Seasonal infectious disease epidemiology. *Proc Biol Sci B*, 2006, 273, pp. 2541-2550.

Hajat S., Bird W., Haines A. Cold weather and GP consultations for respiratory conditions by elderly people in 16 locations in the UK. *Eur J Epidemiol*, 2004, 19(10), pp. 959-968.

Hope-Simpson R E. The role of season in the epidemiology of influenza. *The Journal of Hygiene (London)*, 1981, 86, pp. 35-47.

Höppe P. Aspects of human biometeorology in past, present and future. *Int J Biometeorol*, 1997, 40, pp. 19-23.

Huynen M M., Martens P., Schram D., Weijenberg M P., Kunst A E. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environ Health Perspect*, 2001, 109(5), pp. 463-470.

Ijaz M K., Satta S A., Johnson-Lussenburg C M., Springthorpe V S., Nair R C. Effect of relative humidity, atmospheric temperature, and suspending medium on the airborne survival of human rotavirus. *Can J Microbiol*, 1985, 31(8), pp. 681-685.

Kaiser R., Tertre A L., Schwartz J., Gotway C A., Daley W R., Rubin C H. The effect of the 1995 heat wave in Chicago on all-cause and cause-specific mortality. *Am J Public Health*, 1997, Suppl 1: S158-S162.

Laaidi M., Laaidi K., Besancenot J P. Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming. *Int J Biometeorol*, 2006, n°51, pp. 145-153.

Liu C., Lin S., Chen Y., Lin K C., Wu T J., King C. Temperature drops and the onset of severe avian influenza A H5N1 virus outbreaks. *PLoS ONE* 2, 2007, e191: doi 10.1371/journal.pone.0000191

Lowen A C., Steel J., Mubareka S., Palese P. High temperature (30 degrees C) blocks aerosol but not contact transmission of influenza virus. *J Virol*, 2008, 82(11), pp. 5650-5652.

Lowen A C., Mubareka S., Steel J., Palese P. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathog*, 2007, 3(10), pp. 1470-1476.

Lowen A C., Mubareka S., Tumpey T M., García-Sastre A., Palese P. The guinea pig as a transmission model for human influenza viruses. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2006, 103(26), pp. 9988-9992.

Mc Kenzie M A., Mather K., Cooper D., Janson P., White M., Bobak M., Keatinge W R., Donaldson G C. Cold exposure and winter mortality in Europe. *Lancet*, 1997, 350(9077), pp. 590-592.

Mourtzoukou E G., Falagas M E. Exposure to cold and respiratory tract infections. *Int J Tuberc Lung Dis*, 2007, 11(9), pp. 938-943.

Nastos P T., Matzarakis A. Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece. *Int J Biometeorol*, 2006, 50(6), pp. 358-369.

Pialoux G., Gaüzère B., Jauréguiberry S., Strobel M. Chikungunya, an epidemic arbovirolosis. *Lancet Infect Dis*, 2007, 7(5), pp. 319-327.

Piéry M. *Traité de climatologie biologique et médicale*. 3 vols. Paris : Masson, 1934, 2664p.

Rodo X., Pascual M., Fuchs G., Faruque A S G. ENSO and cholera: a nonstationary link related to climate change. *PNAS*, 2002, 99(20), pp. 12901-12906.

Schaffer F L., Soergel M E., Straube D C. Survival of airborne influenza virus: effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. *Arch Virol*, 1976, 51(4), pp. 263-273.

Schulman J L., Kilbourne E D. Experimental transmission of influenza virus infection in mice II. Some factors affecting the incidence of transmitted infections. *J Exp Med*, 1963, 118, pp. 267-275.

Schulman J L., Kilbourne E D. Experimental transmission of influenza virus infection in mice I. The period of transmissibility. *J Exp Med*, 1963, 118, pp.257-266.

Schaffer F L., Soergel M E., Straube D C. Survival of airborne influenza virus: effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. *Arch Virol*, 1976, 51(4), pp. 263-273.

Sutherst R W. Global change and human vulnerability to vector-borne diseases. *Clin Microbiol Rev*, 2004, 17(1), pp. 136-173

Van Aalst M K. The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters*, 2006, 30(1), pp. 5-18

Weihe W H. Climate, health and disease. In : Proceedings of the World Climate Conference', Genève : World Meteorological Organization, 1979, pp. 313-368.

Viboud C., Pakdaman K., Boëlle P Y., Wilson M L., Myers M F., Valleron A J., Flahault A. Association of influenza epidemics with global climate variability. *Eur J Epidemiol*, 2004, 19(11), pp. 1055-1059.

Vandentorren S., Bretin P., Zeghnoun A., Mandereau-Bruno L., Croisier A., Cochet C., Ribéron J., Siberan I., Declercq B., Ledrans M. August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. *Eur J Public Health*, 2006, 16(6), pp. 583-591.

Détection / Diffusion de la grippe

Bertillon J. La grippe à Paris et dans quelques autres villes de France et de l'étranger en 1889-1890. In : *Annuaire statistique de la ville de Paris pour l'année 1890*. 1892, pp 101-132.

Brownstein J S., Wolfe C J., Mandl K D. Empirical evidence for the effect of airline travel on inter-regional influenza spread in the United States. *PLoS Med*, 2006, 3(10): e401.doi:10.1371/journal.pmed.0030401

Carrat F., Valleron A J. Interface graphique pour un système interactif d'aide à la décision épidémiologique dans le domaine des maladies transmissibles : apport du krigeage. *Informatique et santé*, 1992, n° 5, pp. 88-94.

Costagliola D., Flahault A., Galinec D., Garnerin P., Menares J., Valleron A J. A routine tool for detection and assessment of epidemics of influenza-like syndromes in France. *Am J Public Health*, 1991, 81(1), pp. 97-99

Crépey P., Barthélemy M. Detecting robust patterns in the spread of epidemics: a case study of influenza in the United States and France., *Am J Epidemiol*, 2007, 166(11), pp. 1244-1251.

Flahault A., Blanchon T., Dorléans Y., Toubiana L., Vibert J F., Valleron A J. Virtual surveillance of communicable diseases: a 20-year experience in France. *Stat Methods Med Res*, 2006, 15(5), pp. 413-421

Hannoun C., Léophonte P., Peyramond D. *La grippe : conceptions actuelles*. Montrouge : John Libbey Eurotext, 2004, 156p.

Serfling R E. Methods for current statistical analysis of excess pneumonia-influenza deaths. *Public Health Re.*, 1963, 78(6), pp. 494-506.

Viboud C., Miller M A., Grenfell B T., Bjørnstad O N., Simonsen L. Air travel and the spread of influenza: important caveats. *PLoS Med*, 2006, 3(11), e503 doi:10.1371/journal.pmed.0030503.

Werner E, Smith R S. *Vulnerable but invincible : a longitudinal study of resilient children and youth*. New-York : Mc Graw-Hill, 1982, 229p.

Références techniques générales

Besleaga N. Le froid et les vagues de froid. Paris : Direction de la Météorologie Nationale, 1992, 40p.

Bessemoulin J. Atlas climatique de la France. Paris : Direction de la Météorologie, 1981, 50p.

Diday M. La méthode des nuées dynamiques. *Revue Stat. Appl.* 1982, n°19, p. 19-34.

McQueen. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. in : *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical statistics and probability*, 1967, University of California Press, pp. 281-297

Matheron G. La théorie des variables régionalisées et ses applications. *Les cahiers du centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau*, 1970.

Oke T. The energetic basis of an urban heat island. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc*, 1982, n° 108, pp. 1-24.

Oke T. City size and the urban heat island. *Atmos. Environ*, 1976, n° 7, pp. 769-779.

Osczevski R J. The basis of wind chill. *Arctic*, 1995, n°48, pp. 372-382.

Pédelaborde P. *Le climat du bassin Parisien: essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique*. Paris : éditions Th. Guénin, 539p.

Vallee J. *Techniguide de la météo*. Paris : Nathan, 2004, 222p.

Principales références webographiques

Bases de données éco-santé de l'Irdes : <http://www.ecosante.fr/>

INSEE : <http://www.insee.fr/fr/default.asp>

Groupes Régionaux d'Observation de la Grippe : <http://www.grog.org/>

Institut de Veille Sanitaire : <http://www.invs.sante.fr/>

Météo France : <http://france.meteofrance.com/france/accueil?xtor=AL-1>

Ministère de la Santé : <http://www.sante-sports.gouv.fr/>

Organisation Mondiale de la Santé : <http://www.who.int/fr/>

Réseau Sentinelles : <http://websenti.b3e.jussieu.fr/sentiweb/>

ANNEXES

I - Calendriers climatique

II - Sortie MATLAB relative au calcul du critère de déclenchement épidémique

III - Entretien avec un ancien médecin Sentinelles

IV - Sortie XL-Stats : ANCOVA

V - Sortie XL-Stats : ACP

VI - Sortie XL-Stats : ANOVA

ANNEXE I - Calendriers climatiques

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| 01-oct | | | | | | | | | | | | | 15-oct | | | | | | | | | | | | | 01-nov | | | | | | | | | | | | | 15-nov | | | | | | | | | | | | |
| w | w | nw | sw | nw | nw | w | nw | w | w | w | w | nw | ne | nw | n | sw | sw | w | nw | w | w | w | w | sw | sw | w | w | sw | sw | sw | s | sw | s | sw | sw | s | sw | sw | s | s | w | sw | sw | nw | nw | | | | | | |
| 6 | 6 | 4 | 3 | 7 | 7 | 1 | 2 | 10 | 7 | 7 | 5 | 6 | 4 | 2 | 4 | 3 | 7 | 8 | 7 | 7 | 1 | 5 | 9 | 10 | 7 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 6 | 3 | 0 | -2 | 2 | 1 | 3 | 7 | 8 | 5 | 4 | 2 | 4 | 3 | -1 | | | | | | |
| 16 | 13 | 14 | 12 | 15 | 13 | 12 | 12 | 16 | 15 | 18 | 15 | 14 | 15 | 15 | 12 | 14 | 15 | 17 | 15 | 13 | 14 | 13 | 13 | 18 | 17 | 13 | 10 | 12 | 12 | 13 | 14 | 16 | 14 | 9 | 14 | 15 | 14 | 17 | 17 | 18 | 19 | 16 | 15 | 14 | 11 | | | | | | |
| 14 | 12 | 13 | 11 | 10 | 12 | 11 | 13 | 12 | 11 | 15 | 13 | 12 | 14 | 11 | 10 | 12 | 11 | 14 | 14 | 12 | 11 | 13 | 13 | 12 | 13 | 12 | 9 | 8 | 10 | 15 | 13 | 15 | 10 | 9 | 6 | 6 | 10 | 11 | 13 | 11 | 11 | 14 | 13 | 8 | 8 | | | | | | |
| 22 | 21 | 23 | 21 | 23 | 21 | 21 | 24 | 25 | 25 | 23 | 26 | 24 | 26 | 24 | 25 | 22 | 21 | 24 | 24 | 22 | 24 | 23 | 22 | 27 | 22 | 22 | 20 | 23 | 24 | 23 | 23 | 23 | 28 | 19 | 21 | 18 | 19 | 22 | 20 | 20 | 22 | 23 | 21 | 20 | 15 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | 01-déc | | | | | | | | | | | | | 15-déc | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w | nw | w | w | w | sw | w | w | sw | w | w | nw | sw | sw | sw | s | nw | nw | w | sw | sw | w | s | w | n | n | sw | sw | w | w | sw | w | sw | nw | nw | nw | nw | n | ne | nw | w | n | ne | ne | n | ne | | | | | | |
| 0 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 4 | 8 | 6 | 6 | 3 | -3 | -3 | -2 | 0 | 2 | -3 | -1 | -4 | 2 | -1 | -3 | 1 | 2 | -2 | -4 | -3 | -3 | 2 | -3 | -1 | 0 | 0 | -4 | -1 | 3 | -4 | -6 | -3 | -3 | -2 | -2 | -3 | -4 | -6 | -7 | | | | | | |
| 9 | 9 | 11 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 | 14 | 14 | 11 | 11 | 12 | 13 | 14 | 14 | 10 | 10 | 10 | 12 | 10 | 10 | 9 | 7 | 7 | 8 | 9 | 14 | 9 | 7 | 11 | 9 | 8 | 9 | 11 | 13 | 8 | 12 | 10 | 6 | 8 | 3 | 3 | 4 | 6 | 10 | | | | | | |
| 2 | 7 | 4 | 5 | 8 | 6 | 7 | 11 | 13 | 12 | 9 | 7 | 2 | 7 | 8 | 11 | 9 | 7 | 5 | 3 | 6 | 7 | 2 | 7 | 5 | 3 | 2 | 1 | 3 | 8 | 1 | 3 | 5 | 4 | 1 | 4 | 7 | -1 | -1 | 3 | 1 | 1 | 0 | -1 | -3 | -3 | | | | | | |
| 14 | 15 | 15 | 17 | 16 | 17 | 19 | 22 | 23 | 21 | 20 | 18 | 18 | 20 | 17 | 21 | 18 | 16 | 14 | 18 | 18 | 17 | 16 | 19 | 15 | 19 | 17 | 21 | 15 | 15 | 14 | 17 | 18 | 15 | 14 | 15 | 17 | 17 | 15 | 13 | 12 | 9 | 11 | 14 | 14 | 12 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----|-----|-----|----|-----|--|--|--|--|--|--|
| 01-janv | | | | | | | | | | | | | 15-janv | | | | | | | | | | | | | 01-févr | | | | | | | | | | | | | 15-févr | | | | | | | | | | | | |
| nw | n | ne | ne | ne | ne | ne | n | n | nw | n | ne | e | ne | n | nw | sw | nw | w | w | sw | sw | nw | w | sw | nw | w | nw | w | w | nw | nw | nw | nw | s | sw | sw | sw | w | w | nw | nw | nw | w | n | | | | | | | |
| -7 | -5 | -11 | -10 | -20 | -21 | -18 | -19 | -25 | -13 | -17 | -13 | -13 | -17 | -21 | -23 | -23 | -11 | -8 | -6 | -6 | 2 | -3 | -3 | -6 | 0 | -2 | -5 | -2 | 0 | -2 | 2 | 0 | 4 | -3 | -4 | 0 | 0 | 0 | -1 | -8 | -10 | -13 | -11 | -6 | -10 | | | | | | |
| 9 | 6 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 5 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 6 | 6 | 5 | 10 | 10 | 13 | 8 | 7 | 9 | 9 | 8 | 11 | 11 | 10 | 13 | 10 | 13 | 10 | 13 | 9 | 14 | 12 | 11 | 10 | 8 | 11 | 10 | 9 | 14 | | | | | | |
| -3 | -1 | -2 | -3 | -3 | -10 | -13 | -10 | -13 | -11 | -8 | -8 | -11 | -10 | -13 | -13 | -15 | -10 | -3 | -3 | -1 | 5 | 7 | 2 | -2 | 2 | 5 | 0 | 0 | 4 | 6 | 7 | 6 | 6 | 9 | 8 | 6 | 7 | 4 | 1 | -1 | -6 | -5 | -4 | -2 | -1 | | | | | | |
| 13 | 13 | 11 | 7 | 8 | 6 | 6 | 4 | 2 | 9 | 11 | 6 | 8 | 4 | 5 | 7 | 11 | 12 | 11 | 13 | 15 | 17 | 15 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 16 | 19 | 17 | 19 | 22 | 22 | 22 | 20 | 21 | 24 | 18 | 17 | 18 | 16 | 13 | 18 | 21 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | début | | | | | | | | | | | | | pic | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | 01-mars | | | | | | | | | | | | | 15-mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| n | n | n | ne | ne | n | n | n | nw | s | sw | sw | w | sw | sw | nw | sw | nw | n | w | nw | ne | ne | n | ne | ne | nw | nw | n | n | n | nw | nw | nw | nw | w | w | w | sw | sw | nw | nw | sw | sw | | | | | | | | |
| -11 | -8 | -11 | -17 | -16 | -15 | -12 | -10 | -3 | -1 | -3 | -5 | -3 | -3 | 2 | -1 | 4 | -2 | -4 | -4 | -4 | -4 | -5 | 0 | -3 | -6 | -3 | -6 | -3 | -4 | -5 | -9 | -8 | -6 | -2 | 3 | 2 | -2 | 3 | 3 | -3 | -4 | 2 | 7 | | | | | | | | |
| 10 | 10 | 8 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 4 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 9 | 4 | 9 | 10 | 10 | 8 | 11 | 5 | 7 | 7 | 8 | 6 | 7 | 4 | 4 | 6 | 8 | 8 | 10 | 8 | 8 | 10 | 11 | 8 | 7 | 12 | 15 | | | | | | | | | | | |
| -4 | -1 | -3 | -2 | -5 | -2 | 1 | 3 | 4 | 8 | 7 | 5 | 6 | 4 | 6 | 6 | 9 | 7 | 5 | 3 | 3 | 2 | 7 | 6 | 3 | 0 | 1 | 1 | 4 | 0 | -1 | -1 | 0 | 2 | 3 | 6 | 5 | 6 | 9 | 9 | 4 | 3 | 7 | 10 | | | | | | | | |
| 20 | 19 | 14 | 10 | 10 | 13 | 14 | 14 | 15 | 18 | 16 | 19 | 20 | 22 | 13 | 14 | 18 | 14 | 14 | 13 | 14 | 17 | 17 | 18 | 13 | 11 | 17 | 15 | 14 | 13 | 11 | 14 | 16 | 13 | 16 | 19 | 17 | 17 | 20 | 21 | 18 | 17 | 19 | 23 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | fin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

1984
1985

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 01-oct | | | | | | | | | | | | | | 15-oct | | | | | | | | | | | | | | 01-nov | | | | | | | | | | | | | | 15-nov | | | | | | | | | | | | | |
| sw | sw | sw | sw | sw | w | sw | nw | w | nw | sw | sw | nw | n | n | n | nw | w | w | s | sw | w | e | w | sw | w | ne | ne | n | ne | n | w | nw | w | w | w | nw | w | sw | sw | sw | w | w | n | n | nw | | | | | | | | | | |
| 7 | 13 | 12 | 11 | 8 | 6 | 6 | 7 | 2 | 5 | 2 | 6 | 3 | -2 | 0 | 1 | -3 | 1 | 4 | -3 | -3 | -2 | -3 | -4 | -4 | -3 | -5 | -4 | -3 | -6 | -5 | -1 | -1 | -6 | -6 | 6 | 3 | -2 | 1 | 6 | 6 | -5 | -4 | -6 | -6 | -5 | | | | | | | | | | |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 18 | 17 | 17 | 13 | 16 | 15 | 16 | 16 | 14 | 15 | 15 | 17 | 13 | 15 | 15 | 16 | 14 | 11 | 11 | 13 | 14 | 15 | 18 | 14 | 14 | 13 | 14 | 12 | 10 | 10 | 17 | 13 | 13 | 15 | 20 | 16 | 15 | 10 | 8 | 5 | 8 | | | | | | | | | | |
| 19 | 13 | 20 | 18 | 18 | 17 | 17 | 13 | 14 | 14 | 14 | 18 | 16 | 13 | 16 | 13 | 9 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 13 | 12 | 12 | 13 | 11 | 7 | 2 | 0 | 1 | 8 | 7 | 3 | 4 | 7 | 11 | 7 | 8 | 11 | 13 | 7 | 3 | 3 | -4 | 0 | | | | | | | | | | |
| 32 | 30 | 34 | 34 | 28 | 26 | 26 | 30 | 25 | 24 | 29 | 29 | 29 | 30 | 26 | 28 | 25 | 23 | 26 | 26 | 23 | 23 | 24 | 26 | 22 | 19 | 19 | 21 | 20 | 20 | 20 | 23 | 20 | 19 | 18 | 22 | 22 | 20 | 21 | 27 | 24 | 24 | 20 | 13 | 11 | 15 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-----|-----|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | 01-déc | | | | | | | | | | | | | | 15-déc | | | | | | | | | | | | | | 30-déc | | | | | | | | | | | | | |
| nw | nw | n | ne | ne | ne | ne | n | nw | nw | nw | w | sw | w | w | sw | sw | sw | sw | w | w | sw | nw | nw | nw | n | n | nw | nw | nw | w | w | w | w | nw | sw | sw | w | w | sw | w | nw | n | nw | nw | | | | | | | | | | | |
| -8 | -5 | -7 | -7 | -8 | -6 | -5 | -3 | -4 | -7 | -7 | -11 | -7 | -6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 | -3 | -6 | -5 | -6 | -7 | -4 | -3 | -4 | -2 | -3 | -4 | -5 | -4 | -1 | -5 | 3 | 3 | -1 | -3 | -12 | -12 | -17 | | | | | | | | | | |
| 8 | 8 | 6 | 6 | 5 | 1 | 5 | 7 | 6 | 5 | 4 | 6 | 5 | 10 | 11 | 10 | 14 | 13 | 13 | 12 | 10 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 6 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 16 | 10 | 8 | 7 | 9 | 10 | 12 | 10 | 12 | 11 | 5 | 10 | 12 | 9 | 10 | | | | | | | | | |
| -1 | -2 | -2 | -4 | -4 | -3 | -3 | -3 | -2 | -2 | -3 | -3 | -4 | -1 | 1 | 6 | 9 | 12 | 10 | 8 | 11 | 7 | 8 | 7 | 4 | 3 | 0 | -1 | -3 | 3 | 5 | 4 | 3 | 1 | 3 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 7 | 5 | 4 | 0 | -6 | -11 | | | | | | | | | | |
| 13 | 12 | 14 | 12 | 10 | 8 | 9 | 9 | 14 | 10 | 12 | 13 | 13 | 15 | 16 | 19 | 22 | 25 | 23 | 21 | 18 | 17 | 17 | 15 | 14 | 15 | 12 | 10 | 15 | 12 | 15 | 20 | 20 | 15 | 14 | 17 | 17 | 16 | 13 | 14 | 17 | 17 | 15 | 15 | 14 | 11 | | | | | | | | | | |

début

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 01-janv | | | | | | | | | | | | | | 15-janv | | | | | | | | | | | | | | 01-févr | | | | | | | | | | | | | | 15-févr | | | | | | | | | | | | | |
| nw | w | n | nw | sw | nw | sw | nw | n | w | w | nw | nw | w | nw | n | n | nw | w | sw | nw | w | nw | n | n | nw | sw | nw | se | se | e | se | se | e | n | nw | nw | ne | n | ne | ne | ne | nw | w | nw | | | | | | | | | | | |
| -17 | -4 | -1 | -4 | -5 | -2 | -6 | -2 | -2 | -1 | 1 | 2 | 0 | 6 | 0 | -1 | -3 | -9 | -1 | 3 | -4 | 2 | 2 | 0 | -4 | -9 | -10 | -6 | -5 | -6 | -8 | -4 | -9 | -6 | -7 | -4 | -10 | -11 | -13 | -16 | -17 | -17 | -17 | -17 | -13 | -8 | | | | | | | | | | |
| 7 | 11 | 10 | 7 | 6 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 13 | 11 | 10 | 12 | 11 | 9 | 8 | 10 | 11 | 9 | 9 | 8 | 10 | 12 | 6 | 7 | 9 | 6 | 8 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 5 | 4 | 6 | 1 | -2 | 0 | 2 | 3 | 8 | 7 | | | | | | | | | | |
| -3 | 3 | 4 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 6 | 3 | 5 | 8 | 8 | 5 | 2 | 1 | 4 | 9 | 6 | 4 | 6 | 8 | 2 | -1 | -2 | -2 | 2 | 1 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | -2 | -2 | -3 | -5 | -10 | -10 | -5 | -5 | -5 | -2 | 0 | | | | | | | | | | |
| 13 | 14 | 16 | 13 | 13 | 12 | 12 | 14 | 14 | 17 | 19 | 15 | 15 | 16 | 14 | 16 | 13 | 14 | 18 | 16 | 15 | 14 | 18 | 13 | 12 | 12 | 12 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 14 | 13 | 8 | 11 | 11 | 13 | 4 | 4 | 10 | 15 | 14 | 13 | 15 | | | | | | | | | | |

début

pic

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|---------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | 01-mars | | | | | | | | | | | | | | 15-mars | | | | | | | | | | | | | | 31-mars | | | | | | | | | | | | | |
| w | sw | sw | nw | nw | w | w | w | w | nw | nw | sw | sw | sw | sw | nw | nw | sw | sw | w | n | nw | n | n | nw | s | n | ne | sw | sw | s | n | nw | nw | n | w | w | w | nw | sw | w | w | w | w | w | | | | | | | | | | | |
| -8 | -5 | -8 | -13 | -15 | -18 | -18 | -6 | -12 | -16 | -15 | -15 | -6 | -5 | -6 | -12 | -11 | -2 | 2 | -3 | -3 | -5 | -7 | -6 | -4 | -4 | -4 | -5 | -3 | -2 | 0 | 0 | -2 | -1 | -3 | 4 | 3 | -1 | -1 | 4 | 4 | 1 | 1 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 11 | 9 | 8 | 5 | 5 | 7 | 12 | 13 | 9 | 7 | 9 | 10 | 13 | 11 | 10 | 10 | 9 | 10 | 9 | 7 | 6 | 9 | 9 | 10 | 8 | 10 | 8 | 9 | 9 | 14 | 18 | 10 | 10 | 8 | 10 | 12 | 11 | 9 | 11 | 10 | 10 | 10 | 11 | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | -4 | -4 | -4 | -7 | -3 | -3 | -5 | -3 | -4 | -5 | -2 | -1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 5 | 6 | 5 | 3 | 4 | 5 | 7 | 10 | 7 | 9 | 7 | 6 | 6 | 7 | 8 | 9 | 7 | 4 | 10 | 9 | 9 | 8 | 8 | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 16 | 16 | 12 | 13 | 13 | 15 | 19 | 16 | 14 | 16 | 16 | 18 | 16 | 16 | 17 | 16 | 17 | 14 | 16 | 18 | 17 | 17 | 17 | 14 | 19 | 16 | 19 | 20 | 19 | 18 | 14 | 18 | 14 | 20 | 18 | 22 | 18 | 16 | 22 | 19 | 19 | 17 | 20 | | | | | | | | | | | | |

fin

1985
1986

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 05-oct | | | | | | | | | | 15-oct | | | | | | | | | | 01-nov | | | | | | | | | | 15-nov | | | | | | | | | | | |
| s | w | w | w | sw | s | s | w | w | w | sw | sw | w | sw | s | s | sw | sw | sw | sw | w | sw | s | s | s | sw | sw | w | n | n | n | n | n | w | w | w | w | w | w | w | nw | nw |
| 11 | 10 | 6 | 7 | 4 | 9 | 1 | 3 | 1 | 6 | 9 | 12 | 6 | 2 | 1 | 3 | 8 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 7 | 4 | 3 | 6 | 6 | 5 | 5 | 0 | -2 | -4 | -5 | -3 | -3 | 0 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0 | -2 |
| 17 | 18 | 14 | 16 | 14 | 17 | 18 | 15 | 14 | 14 | 18 | 20 | 18 | 13 | 15 | 18 | 16 | 15 | 18 | 14 | 16 | 20 | 20 | 20 | 17 | 14 | 14 | 14 | 14 | 15 | 15 | 12 | 10 | 13 | 13 | 15 | 13 | 12 | 12 | 13 | 11 | 11 |
| 16 | 14 | 13 | 12 | 11 | 11 | 9 | 9 | 10 | 12 | 14 | 13 | 14 | 12 | 14 | 10 | 12 | 12 | 8 | 8 | 10 | 11 | 12 | 10 | 10 | 13 | 10 | 13 | 9 | 9 | 6 | 4 | 3 | 2 | 2 | 6 | 6 | 9 | 7 | 7 | 5 | 4 |
| 25 | 24 | 23 | 25 | 26 | 23 | 20 | 20 | 22 | 21 | 24 | 24 | 25 | 24 | 24 | 26 | 23 | 23 | 21 | 20 | 23 | 26 | 27 | 24 | 20 | 25 | 24 | 21 | 23 | 21 | 21 | 22 | 21 | 20 | 20 | 17 | 19 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | | | | | | | 01-déc | | | | | | | | | | 15-déc | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w | nw | nw | nw | nw | nw | nw | sw | se | e | n | n | n | nw | n | e | e | s | s | s | w | w | n | w | ne | w | w | nw | w | w | w | sw | w | nw | nw | nw | nw | n | n | nw | sw | sw | sw | w | w | s |
| 4 | 3 | -1 | -1 | 1 | 2 | 2 | 0 | -2 | -1 | -3 | -1 | -1 | -6 | -6 | -3 | -5 | -5 | -4 | -1 | 0 | -6 | -9 | -10 | -12 | -13 | -11 | -11 | -4 | -4 | 0 | 5 | 7 | 7 | -1 | -2 | -3 | -4 | -3 | -1 | 2 | -2 | -4 | -3 | -3 | -2 |
| 13 | 13 | 10 | 12 | 12 | 10 | 10 | 9 | 10 | 8 | 8 | 8 | 7 | 6 | 5 | 7 | 6 | 10 | 12 | 12 | 10 | 7 | 11 | 8 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 15 | 14 | 12 | 11 | 10 | 12 | 13 | 10 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 10 | 8 | 8 | 7 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | -1 | 0 | -1 | -1 | 3 | 4 | 0 | 0 | -3 | -5 | -3 | -4 | -4 | -2 | -3 | 1 | 8 | 10 | 11 | 6 | 5 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 6 | 6 | 6 | 3 | 4 |
| 22 | 19 | 20 | 17 | 21 | 18 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 15 | 15 | 11 | 14 | 15 | 15 | 16 | 18 | 17 | 17 | 16 | 16 | 14 | 13 | 17 | 15 | 13 | 16 | 20 | 23 | 23 | 22 | 21 | 20 | 18 | 19 | 16 | 16 | 16 | 15 | 18 | 18 | 20 | 18 | 14 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 01-janv | | | | | | | | | | 15-janv | | | | | | | | | | 01-févr | | | | | | | | | | 15-févr | | | | | | | | | | | | | | | |
| w | w | w | w | sw | sw | nw | n | sw | sw | w | sw | s | s | s | s | w | w | s | s | nw | nw | nw | w | w | w | sw | sw | w | nw | nw | sw | w | w | sw | w | sw | nw | nw | w | w | w | nw | n | sw | s |
| 2 | 4 | 2 | 0 | 2 | 4 | 0 | -3 | -4 | 1 | -1 | -6 | -4 | -2 | 0 | -2 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | -1 | -2 | 1 | 5 | 4 | -1 | 3 | 4 | 2 | -1 | -1 | 2 | -1 | 0 | 3 | 3 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | -4 | -4 | -4 |
| 11 | 12 | 12 | 11 | 12 | 13 | 10 | 10 | 12 | 12 | 9 | 10 | 11 | 10 | 9 | 12 | 13 | 13 | 12 | 12 | 8 | 8 | 9 | 11 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 8 | 8 | 11 | 9 | 9 | 9 | 9 | 11 | 13 | 10 | 12 | 10 | 8 | 6 | 8 | 10 | 10 |
| 5 | 10 | 4 | 7 | 8 | 8 | 6 | 4 | 2 | 7 | 5 | 0 | 5 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 6 | 4 | 5 | 3 | 7 | 8 | 7 | 6 | 8 | 5 | 4 | 3 | 7 | 4 | 9 | 8 | 8 | 4 | 3 | 5 | 9 | 4 | 4 | 5 | 5 | 8 | 9 |
| 15 | 20 | 16 | 20 | 16 | 16 | 16 | 15 | 17 | 16 | 15 | 15 | 14 | 12 | 15 | 14 | 15 | 15 | 15 | 14 | 16 | 17 | 14 | 16 | 16 | 16 | 19 | 18 | 16 | 14 | 13 | 16 | 17 | 16 | 15 | 20 | 17 | 13 | 16 | 20 | 13 | 15 | 14 | 16 | 21 | 17 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| | | | | | | | | | | 01-mars | | | | | | | | | | 15-mars | | | | | | | | | | 01-avr | | | | | | | | | | | | | | | | |
| w | nw | nw | n | n | n | nw | n | n | n | ne | ne | n | n | n | n | w | sw | n | nw | n | n | n | nw | nw | nw | nw | w | w | nw | nw | w | sw | sw | nw | nw | nw | w | w | nw | nw | w | nw | nw | nw | | |
| -3 | -4 | -3 | -3 | -3 | -5 | -6 | -6 | -4 | -6 | -5 | -4 | -3 | -4 | -4 | -7 | -10 | -4 | -5 | -6 | 0 | -3 | -7 | -5 | -2 | -1 | -3 | -2 | -2 | 4 | 3 | 3 | -1 | 6 | 7 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 | 1 | -1 | 0 | 1 | 0 | -1 | |
| 9 | 7 | 5 | 10 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 3 | 3 | 6 | 6 | 5 | 4 | 6 | 8 | 8 | 6 | 10 | 9 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 10 | 9 | 13 | 12 | 14 | 16 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | |
| 7 | 5 | 4 | 4 | 6 | 7 | 5 | 3 | 0 | -2 | -2 | -1 | -1 | -1 | -2 | 1 | 3 | 1 | -1 | 2 | 2 | 2 | 5 | 6 | 7 | 5 | 5 | 7 | 5 | 9 | 7 | 9 | 7 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 10 | 9 | 7 | 7 | 9 | 8 | 8 | 7 |
| 17 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 | 18 | 18 | 12 | 12 | 13 | 14 | 14 | 15 | 12 | 14 | 15 | 12 | 12 | 16 | 16 | 15 | 13 | 16 | 18 | 17 | 18 | 21 | 18 | 22 | 23 | 24 | 21 | 23 | 19 | 19 | 21 | 21 | 22 | 22 | 20 | 19 | 19 | 16 | 17 | 17 | |

début

pic

1987
1988

| 30-oct | | | | 01-nov | | | | | | | | | | | | 15-nov | | | | | | | | | | | | 01-déc | | | | | | | | | | | | 15-déc | | | | | | |
|--------|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|--------|-----|-----|----|----|----|----|-----|----|----|-----|-----|--------|-----|----|----|----|----|----|
| w | w | w | sw | s | nw | sw | 0 | 0 | w | w | w | sw | s | 0 | 0 | s | s | s | s | s | s | w | 0 | w | w | 0 | nw | 0 | ne | e | e | ne | e | 0 | nw | nw | nw | nw | 0 | e | w | w | w | w | sw | |
| 6 | 4 | 6 | 8 | 6 | 4 | 4 | 1 | -2 | -2 | 1 | -2 | -1 | -3 | -3 | -4 | -5 | -5 | -2 | -2 | -4 | -2 | 1 | 2 | -4 | -8 | -10 | -13 | -12 | -10 | -11 | -9 | -9 | -9 | -9 | -10 | -9 | -9 | -10 | -11 | -9 | -10 | -6 | -2 | 0 | 7 | |
| 17 | 15 | 16 | 16 | 17 | 11 | 12 | 10 | 9 | 13 | 13 | 12 | 13 | 14 | 12 | 9 | 8 | 10 | 15 | 13 | 15 | 17 | 14 | 14 | 10 | 11 | 10 | 9 | 8 | 8 | 9 | 11 | 10 | 10 | 5 | 7 | 9 | 11 | 10 | 9 | 10 | 10 | 7 | 7 | 15 | 13 | 14 |
| 13 | 16 | 13 | 14 | 10 | 8 | 6 | 7 | 7 | 10 | 8 | 10 | 11 | 12 | 11 | 8 | 8 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 13 | 8 | 4 | 0 | 2 | 2 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 1 | -4 | -2 | -1 | 1 | 1 | -1 | -2 | -1 | -2 | 2 | 5 | 8 | 10 |
| 26 | 26 | 21 | 20 | 20 | 19 | 13 | 13 | 17 | 18 | 18 | 17 | 20 | 19 | 18 | 19 | 18 | 16 | 15 | 18 | 19 | 19 | 19 | 17 | 15 | 13 | 16 | 14 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 13 | 9 | 8 | 10 | 8 | 8 | 10 | 12 | 10 | 6 | 11 | 12 | 17 | 15 |

début

| 01-janv | | | | | | | | | | | | 15-janv | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| w | sw | w | sw | sw | sw | nw | w | sw | sw | s | s | ne | ne | ne | e | sw | sw | s | sw | ne | e | e | sw | sw | w | w | sw | w | nw | nw | w | sw | nw | w | nw | sw | sw | sw | nw | nw | w | sw | sw | | | |
| 7 | 7 | 2 | 5 | 2 | 6 | 7 | 0 | -1 | -3 | -3 | -4 | -5 | -7 | -6 | -7 | -9 | -6 | -6 | -6 | -5 | -3 | -3 | -3 | -3 | -5 | -7 | -6 | -7 | -3 | -3 | 0 | -2 | -3 | -7 | -6 | -9 | -6 | -6 | -1 | 4 | 2 | 1 | 3 | -1 | -1 | -1 |
| 16 | 16 | 13 | 11 | 15 | 14 | 11 | 10 | 11 | 9 | 9 | 8 | 7 | 6 | 7 | 8 | 7 | 6 | 8 | 8 | 7 | 10 | 6 | 7 | 7 | 6 | 10 | 7 | 9 | 6 | 6 | 11 | 10 | 7 | 5 | 8 | 10 | 9 | 8 | 9 | 13 | 10 | 8 | 13 | 10 | 10 | 13 |
| 10 | 11 | 8 | 7 | 6 | 10 | 10 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 1 | -1 | -2 | 8 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 4 | 3 | 1 | -4 | -1 | 1 | 0 | 4 | 6 | 6 | 3 | 3 | 7 | | | |
| 20 | 16 | 15 | 12 | 15 | 16 | 14 | 11 | 15 | 13 | 10 | 10 | 9 | 8 | 7 | 10 | 10 | 10 | 8 | 11 | 11 | 11 | 9 | 10 | 10 | 10 | 6 | 5 | 8 | 8 | 9 | 11 | 11 | 9 | 9 | 11 | 11 | 12 | 11 | 13 | 15 | 8 | 12 | 10 | | | |

| 01-févr | | | | 15-févr | | | | | | | | | | | | 01-mars | | | | | | | | | | | | 15-mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | sw | s | sw | w | nw | sw | w | sw | nw | w | nw | w | sw | sw | sw | w | s | sw | sw | w | nw | nw | nw | nw | 0 | 0 | w | w | nw | w | sw | nw | nw | sw | w | sw | nw | sw | s | se | s | s | | |
| 4 | 3 | -1 | -2 | -3 | -3 | -2 | 4 | -3 | -4 | 1 | 1 | 0 | 6 | 2 | 0 | 0 | 1 | 4 | 1 | 4 | -1 | 1 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | -1 | -6 | -6 | -5 | -6 | -2 | -2 | 6 | -1 | 1 | 5 | -2 | 1 | -2 | -1 | 2 | 1 | 1 |
| 13 | 12 | 9 | 10 | 10 | 12 | 12 | 13 | 10 | 11 | 9 | 8 | 11 | 11 | 11 | 12 | 13 | 9 | 12 | 13 | 15 | 11 | 12 | 17 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 7 | 7 | 6 | 6 | 8 | 7 | 10 | 12 | 11 | 10 | 13 | 11 | 12 | 13 | 12 | 15 | 16 | 12 |
| | | | 0 | 5 | 7 | 11 | 3 | 3 | 3 | 4 | 6 | 8 | 9 | 6 | 4 | 3 | 8 | 6 | 9 | 4 | 5 | 7 | 6 | 10 | 9 | 6 | 6 | 3 | -1 | -2 | -1 | -1 | 3 | 6 | 8 | 6 | 4 | 10 | 4 | 8 | 2 | 4 | 6 | 9 | 7 | |
| | | | 15 | 15 | 14 | 15 | 12 | 11 | 9 | 10 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 18 | 17 | 17 | 16 | 18 | 21 | 22 | 16 | 15 | 15 | 16 | 15 | 9 | 9 | 11 | 14 | 14 | 16 | 17 | 15 | 16 | 21 | 16 | 15 | 14 | 17 | 21 | 22 | 20 | 19 | |

Fin

| 31-mars | | | | 01-avr | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| sw | w | nw | w | nw | 0 | 0 | 0 | ne | ne | ne | se | s |
| 0 | 6 | 4 | 0 | -3 | 0 | -1 | -2 | -1 | 0 | -2 | -1 | 0 |
| 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 9 | 14 |
| 8 | 10 | 7 | 6 | 3 | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| 15 | 23 | 17 | 13 | 14 | 11 | 8 | 9 | 9 | 8 | 15 | 18 | 21 |

1989
1990

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|--------|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 02-nov | | | | | | | | | | | | | 15-nov | | | | | | | | | | | | | 01-déc | | | | | | | | | | | | | 15-déc | | | | | | | | | | | | |
| w | nw | nw | nw | 0 | 0 | s | w | w | nw | n | w | nw | nw | 0 | w | w | w | w | sw | sw | sw | w | s | sw | sw | nw | ne | n | n | n | n | n | n | n | s | s | ne | n | n | n | n | ne | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | -1 | -1 | -5 | -6 | -4 | -4 | -1 | 5 | 5 | 0 | 5 | 4 | 2 | 6 | 8 | 4 | 6 | 0 | -3 | -2 | -2 | 0 | -2 | -2 | -1 | -2 | -1 | -4 | -5 | -6 | -4 | -8 | -6 | -10 | -7 | -5 | -4 | -6 | -4 | -6 | -5 | -6 | | | | | | | | |
| 12 | 9 | 8 | 8 | 7 | 9 | 11 | 14 | 15 | 11 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 14 | 16 | 14 | 13 | 11 | 10 | 7 | 7 | 11 | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 8 | 4 | 3 | 3 | 9 | 4 | 7 | 4 | 7 | 7 | 3 | | | | | | | | |
| 8 | 7 | 8 | 6 | 7 | 5 | 7 | 6 | 12 | 11 | 11 | 12 | 13 | 10 | 12 | 12 | 9 | 8 | 9 | 7 | 5 | 1 | 6 | 4 | 4 | 7 | 2 | 2 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 0 | -1 | -2 | 2 | 0 | -1 | -1 | 4 | 4 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 18 | 16 | 17 | 16 | 17 | 20 | 19 | 20 | 17 | 18 | 20 | 20 | 21 | 19 | 21 | 21 | 21 | 18 | 18 | 19 | 14 | 14 | 14 | 15 | 16 | 12 | 12 | 12 | 14 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 10 | 13 | 14 | 11 | 9 | 12 | 12 | 13 | 12 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|
| | | | | | | | | | | | | | 01-janv | | | | | | | | | | | | | 15-janv | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ne | ne | ne | n | nw | n | n | sw | s | s | nw | w | w | w | w | w | w | w | sw | w | w | w | w | n | w | w | w | sw | se | se | e | e | e | w | n | n | n | e | e | e | e | e | e | |
| -9 | -9 | -13 | -10 | -5 | -7 | -3 | -4 | -4 | -2 | 0 | 2 | -1 | 0 | 2 | -2 | 2 | 1 | -1 | -1 | -1 | 3 | 3 | 1 | 0 | 2 | 4 | 6 | -1 | -3 | -4 | -4 | -7 | -6 | -5 | -3 | -3 | -2 | -3 | -6 | -10 | -11 | -7 | -6 |
| 7 | 2 | 5 | 8 | 2 | 7 | 9 | 9 | 8 | 8 | 9 | 12 | 9 | 12 | 14 | 13 | 12 | 10 | 10 | 12 | 7 | 10 | 10 | 12 | 10 | 13 | 17 | 13 | 9 | 8 | 9 | 7 | 6 | 7 | 5 | 7 | 6 | 8 | 7 | 4 | 4 | 9 | 4 | 4 |
| 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | 0 | 4 | 3 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 10 | 9 | 7 | 5 | 5 | 9 | 6 | 7 | 7 | 5 | 6 | 7 | 10 | 9 | 8 | 2 | -1 | 2 | 1 | 4 | 2 | 1 | -1 | -1 | 0 | -2 | -4 | -2 | -3 | -5 | -4 |
| 11 | 11 | 10 | 11 | 11 | 12 | 13 | 15 | 13 | 14 | 14 | 16 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 17 | 17 | 14 | 15 | 16 | 15 | 16 | 16 | 19 | 18 | 17 | 13 | 12 | 16 | 13 | 12 | 17 | 12 | 14 | 15 | 9 | 13 | 13 | 15 | 13 | 14 | 14 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|----|-----|-----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 01-févr | | | | | | | | | | | | | 15-févr | | | | | | | | | | | | | 28-févr | | | | | | | | | | | | |
| s | s | s | s | s | n | n | n | n | w | sw | w | sw | w | nw | n | 0 | nw | nw | se | s | e | s | sw | w | w | sw | sw | sw | sw | w | | | | | | | | |
| -12 | -11 | -11 | -6 | -7 | -8 | -9 | -12 | -12 | -20 | -13 | -13 | -13 | -11 | -9 | -13 | -15 | -11 | -4 | -12 | -8 | -3 | -5 | -2 | -1 | -2 | -1 | -1 | -1 | -3 | -1 | | | | | | | | |
| 4 | 4 | 5 | 3 | 7 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 8 | 1 | 2 | 2 | 3 | 0 | 8 | 10 | 7 | 10 | 12 | 10 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 10 | | | | | | | | |
| -1 | -1 | -3 | -3 | -3 | -4 | -2 | -2 | -6 | -7 | -5 | -4 | -4 | -1 | -5 | -2 | -4 | -3 | 3 | 0 | 4 | 3 | 1 | 7 | 9 | 10 | 11 | 10 | 10 | 7 | 7 | | | | | | | | |
| 13 | 13 | 11 | 13 | 11 | 11 | 13 | 12 | 9 | 11 | 7 | 13 | 12 | 10 | 10 | 10 | 9 | 10 | 17 | 12 | 12 | 16 | 16 | 17 | 15 | 19 | 20 | 21 | 20 | 17 | 14 | | | | | | | | |

début de l'épidémie durant c

Fin de l'épidémie

1990
1991

| 30-sept | | 01-oct | | | | | | | | | | | | | 15-oct | | | | | | | | | | | | | 01-nov | | | | | | | | | | | | | 15-nov | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|
| nw | w | nw | w | sw | sw | s | s | s | s | s | s | s | s | sw | s | sw | nw | w | w | w | n | n | ne | n | n | s | s | s | s | w | w | sw | sw | w | sw | w | nw | n | nw | w | nw | nw | w | w | sw | nw | w | | | | | | |
| 6 | 4 | 7 | 1 | 4 | 3 | 6 | -1 | 3 | 3 | 5 | 9 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 8 | 5 | 2 | 1 | 0 | -2 | -4 | -2 | -2 | -1 | 1 | 6 | 3 | -2 | 0 | 2 | 6 | 8 | 5 | 3 | -1 | -2 | 1 | 4 | -3 | -3 | 0 | 4 | 1 | 2 | | | | | | | |
| 17 | 14 | 17 | 15 | 15 | 18 | 15 | 13 | 12 | 16 | 20 | 23 | 16 | 12 | 16 | 15 | 14 | 16 | 16 | 13 | 11 | 7 | 8 | 10 | 10 | 10 | 11 | 12 | 12 | 12 | 10 | 12 | 16 | 16 | 16 | 15 | 11 | 10 | 11 | 13 | 11 | 9 | 11 | 11 | 13 | 11 | 9 | | | | | | | |
| 4 | 14 | 15 | 17 | 16 | 14 | 7 | 10 | 11 | 13 | 17 | 15 | 12 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 9 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 9 | 5 | 9 | 9 | 9 | 5 | 10 | 12 | 10 | 13 | 8 | 7 | 5 | 6 | 9 | 7 | 3 | 7 | 9 | 8 | 7 | 7 | | | | | | | |
| 24 | 25 | 24 | 25 | 25 | 24 | 20 | 21 | 23 | 23 | 27 | 25 | 21 | 22 | 21 | 21 | 23 | 23 | 21 | 18 | 18 | 16 | 18 | 18 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 | 20 | 21 | 24 | 20 | 23 | 21 | 20 | 17 | 16 | 18 | 19 | 17 | 17 | 20 | 17 | 15 | 17 | | | | | | | |

| 01-déc | | | | | | | | | | | | | 15-déc | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| nw | nw | w | n | n | ne | ne | ne | e | sw | sw | w | w | s | s | se | e | e | ne | n | n | n | n | ne | ne | se | se | e | s | sw | w | nw | nw | e | nw | nw | nw | w | nw | n | n | n | ne | n | n | | |
| -2 | -4 | 1 | 3 | -1 | 0 | -4 | -4 | -5 | -4 | -4 | -2 | -3 | -2 | -2 | -4 | -3 | -5 | -5 | -6 | -9 | -10 | -8 | -9 | -10 | -8 | -10 | -11 | -12 | -12 | -8 | -3 | -1 | 2 | 1 | 0 | 7 | 2 | 1 | -5 | -6 | -5 | -5 | -7 | -7 | -7 | |
| 12 | 11 | 13 | 12 | 9 | 7 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 13 | 10 | 12 | 12 | 12 | 11 | 9 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 8 | 11 | 11 | 10 | 12 | 12 | 10 | 13 | 14 | 13 | 7 | 6 | 9 | 5 | 9 | 6 | 5 |
| 6 | 3 | 7 | 7 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 8 | 7 | 6 | 4 | 3 | 0 | -1 | -1 | -1 | 2 | -2 | 0 | 0 | -1 | -3 | -1 | 0 | -2 | -5 | -3 | 3 | 8 | 7 | 8 | 4 | 7 | 9 | 8 | 5 | 1 | 0 | 4 | 2 | 3 | 0 | -1 | |
| 15 | 18 | 18 | 15 | 13 | 16 | 12 | 14 | 15 | 20 | 21 | 18 | 18 | 16 | 16 | 15 | 16 | 16 | 15 | 15 | 13 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 14 | 15 | 14 | 15 | 15 | 19 | 18 | 16 | 15 | 18 | 20 | 15 | 14 | 13 | 14 | 16 | 14 | 14 | 14 | | |
| début | | | | | | | | | | | | | pic | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 01-janv | | | | | | | | | | | | | 15-janv | | | | | | | | | | | | | 01-févr | | | | | | | | | | | | | 15-févr | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| w | s | s | w | w | s | sw | sw | sw | e | e | se | e | ne | ne | nw | ne | nw | n | ne | ne | e | e | s | n | n | ne | e | e | se | e | n | n | nw | nw | n | nw | ne | sw | sw | nw | w | w | sw | nw | w | | | | | | |
| -5 | -7 | -8 | -4 | -3 | -5 | -5 | -1 | 6 | -1 | -2 | -4 | -3 | -8 | -5 | -3 | -2 | -7 | -7 | -4 | -7 | -13 | -16 | -13 | -10 | -10 | -7 | -13 | -12 | -11 | -7 | -9 | -8 | -6 | -1 | 4 | 2 | -5 | -4 | -4 | 0 | -1 | 4 | 3 | -1 | -1 | | | | | | |
| 6 | 9 | 9 | 10 | 11 | 10 | 7 | 13 | 13 | 7 | 8 | 10 | 10 | 6 | 6 | 5 | 5 | 6 | 8 | 8 | 7 | 6 | 8 | 10 | 11 | 8 | 6 | 5 | 5 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 9 | 10 | 9 | 12 | 6 | 11 | 10 | 10 | 12 | 12 | 9 | 10 | | | | | | |
| -3 | -2 | -1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 8 | 6 | 3 | -1 | 1 | -1 | 0 | 2 | -1 | 2 | -2 | -2 | 1 | -3 | -3 | -3 | 1 | -2 | -1 | -1 | -1 | 3 | -1 | -1 | -1 | -2 | 0 | 4 | 5 | 5 | 2 | 0 | 8 | 8 | 4 | 10 | 6 | 7 | 7 | | | | | | |
| 14 | 13 | 15 | 14 | 15 | 14 | 15 | 18 | 15 | 15 | 12 | 12 | 16 | 14 | 14 | 13 | 12 | 12 | 13 | 12 | 12 | 11 | 11 | 16 | 17 | 17 | 15 | 14 | 16 | 18 | 16 | 17 | 16 | 17 | 15 | 19 | 18 | 16 | 17 | 18 | 16 | 19 | 23 | 13 | 19 | 18 | | | | | | |
| fin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 01-mars | | | | | | | | | | | | | 15-mars | | | | | | | | | | | | | 31-mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| nw | nw | n | n | ne | n | n | n | s | se | se | se | e | se | sw | nw | nw | nw | sw | w | sw | nw | n | nw | nw | nw | nw | nw | nw | nw | nw | n | w | nw | nw | w | ne | ne | n | n | nw | w | sw | s | |
| 0 | -3 | -10 | -12 | -11 | -10 | -6 | -6 | -4 | -1 | -1 | -3 | -4 | -4 | -3 | 0 | -4 | -4 | 0 | 4 | -3 | -1 | -3 | -2 | -1 | -3 | 2 | 3 | 6 | -2 | -2 | -2 | 0 | -1 | 1 | 0 | 3 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1 | -3 | 0 | -1 |
| 9 | 7 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 6 | 5 | 10 | 9 | 10 | 9 | 8 | 11 | 10 | 8 | 8 | 14 | 10 | 9 | 13 | 10 | 9 | 9 | 8 | 10 | 10 | 14 | 13 | 11 | 11 | 10 | 13 | 16 | 12 | 13 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 7 | 8 | 12 |
| 3 | 1 | -2 | -2 | 1 | 4 | 5 | 5 | 7 | 6 | 8 | 7 | 4 | 12 | 14 | 8 | 9 | 11 | 9 | 10 | 11 | 6 | 8 | 8 | 7 | 5 | 8 | 7 | 8 | 8 | 10 | 14 | 11 | 10 | 10 | 8 | 6 | 4 | 5 | 0 | 4 | 3 | 7 | 8 | 2 |
| 17 | 14 | 11 | 11 | 12 | 12 | 14 | 17 | 17 | 14 | 15 | 17 | 19 | 19 | 18 | 19 | 21 | 20 | 15 | 19 | 19 | 17 | 17 | 18 | 18 | 18 | 17 | 20 | 21 | 25 | 21 | 20 | 22 | 24 | 25 | 20 | 17 | 16 | 17 | 14 | 12 | 16 | 18 | 20 | 14 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 01-oct | | | | | | | | | | | | | | 15-oct | | | | | | | | | | | | | | 01-nov | | | | | | | | | | | | | | 15-nov | | | | | | | | | | | | | |
| w | w | nw | w | sw | sw | s | n | n | nw | w | nw | nw | w | w | w | sw | w | w | w | w | w | w | nw | nw | w | nw | nw | w | w | w | sw | w | w | n | w | w | w | nw | nw | nw | w | nw | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 7 | 4 | 3 | 2 | 1 | 6 | 7 | 1 | 7 | 5 | 8 | 2 | 5 | 4 | 3 | 9 | 2 | 0 | -1 | 1 | 2 | 6 | 8 | 8 | 2 | 2 | 6 | 6 | 2 | 1 | 5 | -1 | 5 | 2 | -3 | -5 | -3 | -3 | -1 | 6 | -2 | -2 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | |
| 16 | 14 | 16 | 14 | 14 | 15 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 17 | 13 | 15 | 13 | 15 | 17 | 16 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 16 | 16 | 14 | 13 | 15 | 15 | 12 | 12 | 13 | 14 | 13 | 15 | 11 | 11 | 10 | 11 | 14 | 14 | 11 | 10 | 8 | 11 | 10 | | | | | | | | | | |
| 14 | 11 | 8 | 9 | 10 | 10 | 10 | 9 | 10 | 12 | 14 | 13 | 14 | 16 | 15 | 16 | 15 | 11 | 12 | 12 | 13 | 15 | 15 | 14 | 14 | 10 | 13 | 16 | 12 | 11 | 12 | 10 | 10 | 10 | 9 | 10 | 11 | 7 | 11 | 13 | 12 | 11 | 8 | 7 | 7 | 8 | | | | | | | | | | |
| 24 | 22 | 23 | 18 | 21 | 22 | 21 | 19 | 20 | 20 | 22 | 24 | 23 | 24 | 23 | 26 | 23 | 23 | 20 | 21 | 23 | 25 | 23 | 23 | 21 | 21 | 22 | 24 | 24 | 20 | 20 | 20 | 21 | 18 | 21 | 20 | 20 | 18 | 22 | 25 | 21 | 20 | 16 | 16 | 16 | 15 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 01-déc | | | | | | | | | | | | | | 15-déc | | | | | | | | | | | | | | 01-janv | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| nw | n | nw | n | n | n | n | n | n | w | n | n | n | n | ne | e | e | n | n | n | n | n | n | nw | nw | nw | w | n | n | nw | sw | w | w | n | n | nw | w | sw | n | w | w | sw | sw | s | s | sw | w | nw | |
| -2 | -5 | -6 | -9 | -8 | -10 | -11 | -13 | -12 | -8 | -3 | -2 | -3 | -1 | -2 | -3 | -4 | -5 | -5 | -2 | -4 | -7 | -8 | -5 | 0 | 1 | 5 | 4 | -1 | -2 | -2 | -2 | -3 | -2 | -3 | -5 | -8 | -8 | -4 | -3 | -4 | -1 | -2 | -2 | -3 | -2 | -1 | -3 | 3 |
| 8 | 7 | 8 | 7 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 10 | 11 | 11 | 11 | 8 | 9 | 8 | 10 | 11 | 8 | 6 | 5 | 5 | 9 | 11 | 11 | 11 | 13 | 14 | 12 | 11 | 9 | 8 | 11 | 10 | 8 | 6 | 8 | 8 | 7 | 11 | 10 | 14 | 13 | 10 | 11 | 10 | 10 | 11 | 12 |
| 6 | 4 | -1 | 1 | -1 | -1 | -2 | -1 | -1 | 0 | 2 | 7 | 6 | 7 | 3 | 1 | -2 | -1 | -1 | 0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 7 | 12 | 11 | 12 | 10 | 9 | 9 | 8 | 8 | 6 | 3 | 4 | 5 | 5 | 9 | 9 | 12 | 8 | 8 | 9 | 10 | 9 | 9 | 10 |
| 15 | 15 | 14 | 14 | 12 | 12 | 9 | 12 | 13 | 12 | 14 | 15 | 16 | 12 | 13 | 14 | 13 | 14 | 13 | 9 | 12 | 11 | 11 | 11 | 12 | 14 | 20 | 21 | 19 | 17 | 19 | 16 | 16 | 17 | 12 | 12 | 13 | 12 | 12 | 13 | 17 | 19 | 15 | 17 | 15 | 15 | 13 | 15 | 17 |

début

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 15-janv | | | | | | | | | | | | | | 01-févr | | | | | | | | | | | | | | 15-févr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| sw | sw | sw | w | w | n | n | n | nw | nw | w | w | sw | sw | w | sw | sw | w | sw | w | w | nw | nw | nw | n | ne | ne | ne | ne | n | nw | nw | nw | n | nw | n | n | n | n | ne | ne | ne | nw | nw | nw | w | nw | nw | |
| 5 | -1 | -2 | -2 | 1 | -2 | -7 | -5 | -12 | -6 | -2 | -1 | -1 | 1 | -3 | -4 | -3 | -2 | -2 | -4 | -4 | -2 | 0 | 0 | 1 | -2 | -9 | -9 | -10 | -8 | -3 | -2 | 3 | 1 | -2 | -5 | -3 | -8 | -9 | -13 | -16 | -3 | -5 | -5 | -2 | 0 | 2 | 5 | 2 |
| 13 | 14 | 12 | 9 | 11 | 9 | 8 | 5 | 3 | 8 | 10 | 10 | 11 | 10 | 10 | 11 | 11 | 9 | 10 | 9 | 10 | 11 | 7 | 9 | 11 | 10 | 8 | 4 | 5 | 8 | 7 | 9 | 10 | 11 | 9 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 9 | 8 | 9 | 10 | 10 | 12 | 13 |
| 11 | 13 | 12 | 9 | 7 | 4 | -1 | -2 | -3 | 2 | 3 | 3 | 9 | 6 | 4 | 4 | 7 | 9 | 7 | 1 | 9 | 9 | 6 | 5 | 8 | 2 | -2 | -2 | 0 | 1 | 6 | 6 | 7 | 6 | 3 | 1 | 0 | -2 | -2 | -2 | -3 | -2 | 0 | 2 | 4 | 7 | 7 | 9 | 7 |
| 23 | 23 | 23 | 18 | 18 | 15 | 10 | 11 | 11 | 11 | 15 | 17 | 16 | 15 | 14 | 17 | 16 | 15 | 14 | 16 | 17 | 20 | 18 | 17 | 16 | 18 | 13 | 9 | 11 | 13 | 15 | 15 | 16 | 16 | 15 | 13 | 16 | 12 | 11 | 10 | 11 | 11 | 12 | 14 | 14 | 16 | 18 | 16 | 20 |

pic

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|
| 01-mars | | | | | | | | | | | | | | 15-mars | | | | | | | | | | | | | | 01-avr | | | | | | | | | | | | | |
| nw | nw | w | n | sw | sw | w | w | w | sw | n | nw | nw | w | sw | sw | s | s | s | w | nw | n | ne | ne | nw | nw | nw | n | nw | sw | s | nw | nw | n | sw | sw | s | s | | | | |
| -1 | -3 | -2 | -5 | -4 | -4 | -2 | -3 | 0 | 5 | 0 | -1 | -2 | -3 | -3 | 1 | 0 | -6 | 0 | 0 | 1 | 0 | -4 | -3 | -4 | -1 | -2 | -3 | 2 | 0 | -1 | 1 | 4 | -2 | -1 | -2 | -2 | -1 | 0 | | | |
| 10 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 | 11 | 10 | 12 | 9 | 10 | 7 | 5 | 5 | 7 | 11 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 | 11 | 13 | 12 | 11 | 13 | 10 | 8 | 9 | 9 | 10 | 11 | 11 | 8 | 6 | 11 | 11 | 11 | 13 | | | |
| 2 | 4 | 2 | 5 | 5 | 8 | 9 | 7 | 9 | 9 | 6 | 1 | 5 | 3 | 6 | 8 | 7 | 10 | 14 | 12 | 11 | 10 | 10 | 11 | 11 | 9 | 9 | 7 | 5 | 5 | 11 | 13 | 7 | 5 | 5 | 10 | 13 | 15 | 15 | | | |
| 18 | 14 | 14 | 20 | 16 | 18 | 17 | 20 | 22 | 18 | 15 | 16 | 14 | 14 | 20 | 20 | 22 | 23 | 24 | 22 | 22 | 24 | 24 | 20 | 19 | 18 | 18 | 20 | 17 | 21 | 23 | 20 | 18 | 16 | 15 | 22 | 22 | 26 | 23 | | | |

fin

1998
1999

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| 01-oct | | | | | | | | | | | | | 15-oct | | | | | | | | | | | | | 01-nov | | | | | | | | | | | | | 15-nov | | | | | | | | | | | | |
| w | w | sw | sw | sw | sw | sw | s | sw | sw | s | sw | s | sw | w | nw | w | sw | sw | sw | sw | sw | sw | s | sw | sw | s | sw | s | se | se | s | s | nw | n | n | n | n | n | ne | ne | n | ne | ne | | | | | | | | |
| 9 | 8 | 3 | 7 | 6 | 7 | 1 | 4 | 7 | 5 | 7 | 4 | 4 | 6 | 5 | 3 | 4 | 4 | 2 | 11 | 6 | 2 | 7 | 6 | 9 | 1 | 1 | 6 | 5 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 5 | 1 | 0 | -1 | -3 | -3 | -4 | -3 | -4 | -1 | -4 | -5 | | | | | | |
| 17 | 17 | 16 | 18 | 18 | 20 | 20 | 21 | 20 | 20 | 15 | 15 | 14 | 14 | 11 | 10 | 10 | 12 | 16 | 23 | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 16 | 14 | 16 | 14 | 12 | 14 | 14 | 14 | 16 | 18 | 16 | 13 | 13 | 11 | 11 | 10 | 10 | 12 | 11 | 10 | 6 | | | | | | |
| 17 | 16 | 18 | 17 | 15 | 14 | 15 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13 | 12 | 9 | 7 | 10 | 12 | 12 | 16 | 15 | 16 | 19 | 16 | 14 | 12 | 11 | 13 | 13 | 12 | 11 | 9 | 9 | 11 | 12 | 9 | 8 | 7 | 6 | 4 | 3 | 4 | 2 | 6 | 4 | 5 | | | | | | |
| 27 | 29 | 28 | 34 | 32 | 27 | 26 | 29 | 28 | 28 | 25 | 23 | 21 | 20 | 20 | 20 | 24 | 20 | 27 | 29 | 27 | 25 | 28 | 31 | 25 | 21 | 20 | 24 | 20 | 20 | 19 | 20 | 20 | 23 | 25 | 22 | 21 | 19 | 17 | 15 | 16 | 16 | 19 | 20 | 17 | 15 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | 01-déc | | | | | | | | | | | | | 15-déc | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| nw | nw | w | nw | nw | nw | nw | n | w | w | w | w | n | e | sw | sw | nw | e | ne | e | se | e | e | ne | e | se | s | w | nw | nw | nw | nw | nw | w | n | n | nw | w | sw | n | ne | nw | n | ne | w | | | | | | | |
| -5 | 0 | -2 | -1 | -4 | -5 | -1 | -3 | -3 | -5 | -2 | 0 | -2 | 0 | -1 | -2 | -2 | -2 | -3 | -3 | -4 | -5 | -2 | -5 | -5 | -5 | -5 | -7 | -7 | -6 | -7 | 1 | -2 | -1 | -8 | -11 | -13 | -4 | -1 | -2 | -2 | -4 | -6 | -7 | -4 | -4 | | | | | | |
| 7 | 11 | 11 | 10 | 7 | 11 | 11 | 12 | 11 | 8 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 12 | 13 | 12 | 9 | 9 | 13 | 13 | 13 | 12 | 8 | 8 | 12 | 9 | 10 | 12 | 11 | 10 | 12 | 9 | 8 | 6 | 11 | 11 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 11 | 10 | | | | | | |
| 3 | 7 | 9 | 7 | 3 | 7 | 11 | 8 | 7 | 2 | 6 | 7 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 5 | 1 | 2 | 2 | 0 | -1 | 0 | -2 | -3 | -2 | -2 | -2 | 5 | 7 | 6 | 2 | -1 | -2 | 0 | 6 | 7 | 4 | 4 | -1 | -1 | 0 | 0 | 2 | | | | | | | |
| 18 | 18 | 17 | 20 | 17 | 18 | 17 | 19 | 18 | 15 | 17 | 18 | 17 | 12 | 13 | 15 | 18 | 18 | 17 | 17 | 18 | 18 | 17 | 19 | 20 | 18 | 17 | 18 | 17 | 16 | 17 | 16 | 16 | 19 | 14 | 11 | 14 | 14 | 16 | 14 | 10 | 11 | 11 | 13 | 15 | 15 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|---------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|---------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 01-janv | | | | 03-janv | | | | | | | | 15-janv | | | | | | | | | | | | 01-févr | | | | | | | | 15-févr | | | | | | | | | | | | | |
| nw | nw | nw | w | w | nw | w | w | w | w | w | w | nw | nw | n | w | w | sw | n | nw | nw | nw | w | n | n | n | ne | n | n | ne | n | n | n | n | n | e | s | s | s | nw | n | nw | w | w | n | n |
| 1 | 1 | -5 | -4 | -4 | 0 | 0 | -3 | -4 | -1 | -1 | -3 | -2 | -3 | -7 | -5 | -4 | -1 | -1 | 0 | 4 | -1 | -3 | -3 | -7 | -8 | -10 | -12 | -12 | -14 | -10 | -1 | -4 | -6 | -6 | -6 | -5 | -5 | -7 | -6 | -3 | -2 | 7 | -1 | -2 | -3 |
| 11 | 11 | 7 | 7 | 10 | 9 | 11 | 10 | 10 | 11 | 11 | 9 | 8 | 6 | 8 | 10 | 7 | 8 | 7 | 12 | 13 | 12 | 9 | 4 | 3 | 0 | 1 | 6 | 6 | 5 | 6 | 8 | 7 | 7 | 6 | 8 | 8 | 6 | 8 | 6 | 7 | 10 | 11 | 10 | 6 | 6 |
| 8 | 6 | 5 | 6 | 8 | 9 | 11 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 4 | 4 | 5 | 5 | 7 | 6 | 8 | 10 | 8 | 7 | 6 | 2 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 4 | 7 | 7 | 9 | 8 | 7 | 7 | 9 | 6 | -2 | 2 |
| 17 | 17 | 12 | 14 | 14 | 16 | 16 | 14 | 14 | 14 | 15 | 14 | 15 | 15 | 13 | 14 | 13 | 13 | 16 | 16 | 19 | 18 | 14 | 9 | 9 | 9 | 11 | 10 | 8 | 11 | 13 | 16 | 13 | 16 | 14 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 19 | 14 | 12 | 13 |
| | | | | | | | | | | | | | début | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | pic | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|----|-----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | 01-mars | | | | | | | | | | | | | 15-mars | | | | | | | | | | | | | 31-mars | | | | | | | | | | | | |
| n | n | n | n | n | w | w | w | nw | w | n | n | nw | w | w | nw | nw | n | n | n | n | nw | n | w | w | w | w | w | sw | w | nw | nw | nw | s | s | s | s | sw | w | w | w | w | nw | nw | | | | | | | | |
| -6 | -6 | -7 | -5 | -4 | -6 | -7 | -9 | -8 | -10 | -11 | -11 | -12 | -15 | -13 | -9 | -10 | -4 | -5 | -11 | -7 | -4 | -6 | -6 | -7 | -6 | -4 | -4 | -1 | 2 | 1 | -1 | -1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 2 | 1 | 5 | 3 | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | |
| 4 | 4 | 5 | 7 | 4 | 2 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 4 | 8 | 5 | 6 | 7 | 8 | 14 | 11 | 12 | 12 | 11 | 17 | 16 | 13 | 14 | 12 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | | | | | | | | |
| 0 | -1 | 0 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | -2 | 0 | 2 | 0 | -1 | -1 | 1 | -1 | -2 | 1 | 1 | 1 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 8 | 12 | 14 | 9 | 8 | 11 | 11 | 13 | 13 | 14 | 13 | 12 | 10 | 8 | 9 | 11 | 9 | 7 | | | | | | | | |
| 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 10 | 11 | 11 | 14 | 10 | 9 | 7 | 12 | 11 | 11 | 10 | 12 | 7 | 13 | 15 | 18 | 15 | 18 | 15 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 27 | 26 | 19 | 20 | 22 | 20 | 19 | 21 | 20 | 20 | 22 | 21 | 21 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | fin | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANNEXE II - Sortie Matlab relative au calcul du critère de déclenchement épidémique


```

##### Sensibilité et spécificité d'un critère de déclenchement
##### épidémique.

clear all
% thres = 0.32 ;
seuil_semaines = 4
;

load ('toutes21.mat') ;

% serfling
load( 'start_epds.dat' ) ;
depas = start_epds( : , 2 )' ;

ind = 0 ;
for thres = 0.20 : 0.01 : 0.35
    ind = ind + 1 ;

    nb_epds = length( depas ) ;
    nb_semain = sum( depas ) ;
    nb_semain_s_moins = nb_semain - nb_epds ;

    ##### recherche delta_i /i > thres
    max_franchiss = 15 ; % variable pour ...
    franchissements = zeros( 21, max_franchiss ) ;
    for epds = 1:21
        indice_sem = find( data3d( : , 4, epds ) > thres )' ;
        taille = length( indice_sem ) ;
        for d = taille+1 : max_franchiss
            indice_sem( d ) = 0 ;
        end
        franchissements( epds , : ) = indice_sem ;
    end
    % %sauvegarde fichier
    % fichier_positives = [ 'positiv_thr' num2str(thres*100) ...
    % '_sem' num2str( seuil_semaines ) '.dat' ] ;
    % dlmwrite( fichier_positives, franchissements, 'delimiter', '\t' ) ;

    ##### calcul des F+ #####
    f_plus = zeros( nb_epds, 5 ) ;
    for epds = 1 : nb_epds

        count = 1 ;
        d = 0 ;
        while d < max_franchiss-1
            d = d + 1 ;

            ##### boucle de recherche des semaines consécutives#####
            if franchissements( epds , d+1 )-franchissements( epds , d ) == 1
                f_plus( epds, count ) = franchissements( epds , d ) ;
                count = count + 1 ;

                while franchissements( epds, d+1 ) - ...
                    franchissements( epds , d ) == 1
                    d = d + 1 ;
                end
            end

        end

    end

end
end
end

```

```

%%%% D , F %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
cas_positif = 0 ;
cas_negatif = 0 ;
f_moins = 0 ;
apres_serfling = 0 ;

for epds = 1 : nb_epds
    if f_plus( epds, 1 ) > 0
        nb_f_plus = length( find ( f_plus( epds, : ) > 0 ) ) ;
        for count = 1 : nb_f_plus
            if f_plus( epds, count ) <= depas( epds )
                difference = depas( epds ) - f_plus( epds, count ) ;
                if difference <= seuil_semaines
                    %%%% D+ , F+ %%%%
                    cas_positif = cas_positif + 1 ;
                else
                    %%%% D- , F+ %%%%
                    cas_negatif = cas_negatif + 1 ;
                end
            else
                apres_serfling = apres_serfling + 1 ;
            end
        end
    else
        f_moins = f_moins + 1 ;
    end
end

nb_dplus_fplus = cas_positif
nb_dplus_fmoins = nb_epds - nb_dplus_fplus
nb_dmoins_fplus = cas_negatif * ( seuil_semaines+1 )
nb_dmoins_fmoins = nb_semain - nb_epds - nb_dmoins_fplus

%%%%%% Sensibilité_Spécificité %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Se( ind ) = nb_dplus_fplus / ( nb_dplus_fplus + nb_dplus_fmoins )
Sp( ind ) = nb_dmoins_fmoins / ( nb_dmoins_fplus + nb_dmoins_fmoins )

end % for thres

Se, Sp

% plot ( 1-Sp, Se, 'x' )

%%%%%% représentations graphiques %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
plot ( 0.20 : 0.01 : 0.35, Sp , 'o')
hold on
figure
plot ( 0.20 : 0.01 : 0.35, Se , 'x')
hold off

```

ANNEXE III - Entretien avec un ancien médecin membre du réseau Sentinelles

Interview d'un médecin ayant participé au Réseau Sentinelle effectué en novembre 2008

Madame X, médecin généraliste à Paris cinquième arrondissement

Q1 : Quand avez-vous intégré le réseau de veille Sentinelles ?

Il y a vingt ans donc je pense au moment de la création du réseau ou peu de temps après.

Q2 : Comment avez-vous eu connaissance de l'existence de ce réseau ?

J'ai eu des discussions avec un confrère parisien. C'est donc par lui que j'ai été informée de l'existence du réseau.

Q3 : Quelles raisons vous ont motivée pour faire partie des médecins du Réseau Sentinelle ?

Je pensais que le suivi des épidémies (grippes, gastro-entérites etc) permettrait de mieux les prévenir. La création de banques de données suffisantes sur une longue période doit mettre en évidence des faits qui pourraient en retour nous aider à mieux soigner ces prophylaxies, mieux les prévenir, mieux protéger les personnes présentant d'autres pathologies chez qui ces maladies peuvent être malignes contrairement à ce qui se passe pour une personne en bonne santé.

Q4 : Comment se passait la saisie des données ?

Comme vous le savez, elle est hebdomadaire et concerne en gros la période hivernale. Donc en apparence, un médecin y passe peu de temps. Je consulte tous les jours en plus de mes visites à domicile. Le samedi je ne reçois qu'au cabinet jusque vers 17-18 heures. C'est donc après que je rentrais « mes » malades dans la banque de données. En fait, l'épidémie est très concentrée et donc au moment du pic, j'y passais bien.... Disons près de trois quarts d'heure.

Q5 : Avez-vous eu des problèmes avec la saisie ?

Mon problème principal était que pendant longtemps j'étais seule, je n'avais pas de cabinet médical regroupant plusieurs médecins. Donc quand je partais en vacances –en été, pas de problème majeur, on est pas à Tahiti !- mais au moment des congés entre Noël et Jour de l'An, il m'arrivait de sauter des samedis (jours de saisie) en plein pic épidémique ou en plein démarrage. Alors là deux solutions, rattraper la semaine suivante ou faire l'impasse. Les deux alternatives ont dû se produire.

Q6 : Quand avez-vous quitté le réseau ?

Il y a deux ans.

Q7 : Quelles en sont les raisons ?

L'absence de retour. En effet, j'ai eu l'impression de participer à quelque chose qui ne servait qu'à alimenter un site Internet mais qui pour moi en tant que praticienne ne me servait à rien. C'est certainement cela la raison principale car c'est à la même période que j'ai constitué avec deux autres médecins un cabinet médical qui permet d'assurer une présence permanente pour les malades. On aurait pu se relayer avec mes collègues pour la saisie mais après une brève concertation on a décidé de laisser tomber.

ANNEXE IV - Sortie XL-Stats ANCOVA

Statistiques descriptives :

| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|----------------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| M_incid | 22 | 0 | 22 | 0,520 | 1,340 | 0,924 | 0,204 |
| solde touristique/pop | 22 | 0 | 22 | -0,013 | 0,042 | 0,007 | 0,012 |
| nbre lits hôpitaux/pop | 22 | 0 | 22 | 0,003 | 0,005 | 0,004 | 0,000 |
| grandes entreprises | 22 | 0 | 22 | 0,383 | 1,262 | 0,845 | 0,223 |
| enseignement sup/20-24 ans | 22 | 0 | 22 | 0,328 | 0,728 | 0,513 | 0,099 |
| gdes surfaces/pop | 22 | 0 | 22 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| nœud ferro | 22 | 0 | 22 | 0,000 | 13,000 | 4,636 | 3,079 |
| densité | 22 | 0 | 22 | 32,144 | 956,605 | 140,738 | 193,924 |
| RMIste/100habs | 22 | 0 | 22 | 22,500 | 61,600 | 33,195 | 10,327 |

| Variable | Modalités | Effectifs | % |
|-------------------------|-----------|-----------|--------|
| aéro trafic discrétisé | 1 | 5 | 22,727 |
| | 2 | 6 | 27,273 |
| | 3 | 6 | 27,273 |
| | 4 | 5 | 22,727 |
| aéro schengen | 0 | 16 | 72,727 |
| | 1 | 6 | 27,273 |
| migrations frontalières | 0 | 12 | 54,545 |
| | 1 | 3 | 13,636 |
| | 2 | 2 | 9,091 |
| | 3 | 1 | 4,545 |
| | 4 | 1 | 4,545 |
| | 5 | 1 | 4,545 |
| | 6 | 2 | 9,091 |

Matrice de corrélation :

| Variables | solde touristique/pop | nbre lits hôpitaux/pop | grandes entreprises | enseignement sup/20-24 ans | gdes surfaces/pop | nœud ferro | densité |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| solde touristique/pop | 1,000 | 0,046 | -0,380 | 0,242 | -0,316 | 0,384 | -0,308 |
| nbre lits hôpitaux/pop | 0,046 | 1,000 | -0,171 | -0,052 | 0,527 | -0,215 | -0,185 |
| grandes entreprises | -0,380 | -0,171 | 1,000 | -0,178 | 0,251 | 0,050 | 0,234 |
| enseignement sup/20-24 ans | 0,242 | -0,052 | -0,178 | 1,000 | -0,522 | 0,532 | 0,523 |
| gdes surfaces/pop | -0,316 | 0,527 | 0,251 | -0,522 | 1,000 | -0,478 | -0,458 |
| nœud ferro | 0,384 | -0,215 | 0,050 | 0,532 | -0,478 | 1,000 | 0,342 |
| densité | -0,308 | -0,185 | 0,234 | 0,523 | -0,458 | 0,342 | 1,000 |
| RMlste/100habs | 0,042 | -0,170 | -0,326 | 0,108 | -0,277 | 0,046 | 0,150 |
| aéro trafic discrétisé-1 | -0,205 | -0,151 | 0,324 | -0,256 | 0,251 | -0,151 | -0,147 |
| aéro trafic discrétisé-2 | 0,051 | 0,357 | 0,115 | -0,032 | 0,291 | -0,197 | -0,095 |
| aéro trafic discrétisé-3 | -0,207 | -0,138 | -0,247 | -0,303 | 0,085 | 0,006 | -0,210 |
| aéro trafic discrétisé-4 | 0,371 | -0,081 | -0,184 | 0,611 | -0,651 | 0,354 | 0,471 |
| aéro schengen-0 | -0,316 | 0,046 | 0,287 | -0,627 | 0,621 | -0,481 | -0,408 |
| aéro schengen-1 | 0,316 | -0,046 | -0,287 | 0,627 | -0,621 | 0,481 | 0,408 |
| migrations frontalières-0 | -0,379 | -0,167 | 0,104 | -0,336 | 0,105 | -0,474 | 0,059 |
| migrations frontalières-1 | -0,051 | 0,104 | -0,224 | 0,107 | -0,027 | 0,224 | -0,142 |
| migrations frontalières-2 | -0,048 | -0,160 | 0,146 | 0,304 | -0,008 | -0,014 | 0,088 |
| migrations frontalières-3 | 0,442 | 0,044 | -0,333 | 0,078 | -0,332 | 0,099 | 0,013 |
| migrations frontalières-4 | 0,055 | 0,011 | 0,009 | -0,122 | 0,245 | 0,026 | -0,081 |
| migrations frontalières-5 | -0,079 | 0,351 | 0,139 | -0,048 | 0,295 | 0,099 | -0,048 |
| migrations frontalières-6 | 0,462 | 0,030 | 0,075 | 0,217 | -0,293 | 0,406 | 0,063 |
| M_incid | 0,501 | -0,132 | 0,100 | 0,401 | -0,159 | 0,573 | 0,052 |

| Variables | RMIste/100habs | aéro trafic discrétisé-1 | aéro trafic discrétisé-2 | aéro trafic discrétisé-3 | aéro trafic discrétisé-4 | aéro schengen-0 | aéro schengen- 1 |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|
| solde touristique/pop | 0,042 | -0,205 | 0,051 | -0,207 | 0,371 | -0,316 | 0,316 |
| nbre lits hôpitaux/pop | -0,170 | -0,151 | 0,357 | -0,138 | -0,081 | 0,046 | -0,046 |
| grandes entreprises | -0,326 | 0,324 | 0,115 | -0,247 | -0,184 | 0,287 | -0,287 |
| enseignement sup/20-24 ans | 0,108 | -0,256 | -0,032 | -0,303 | 0,611 | -0,627 | 0,627 |
| gdes surfaces/pop | -0,277 | 0,251 | 0,291 | 0,085 | -0,651 | 0,621 | -0,621 |
| nœud ferro | 0,046 | -0,151 | -0,197 | 0,006 | 0,354 | -0,481 | 0,481 |
| densité | 0,150 | -0,147 | -0,095 | -0,210 | 0,471 | -0,408 | 0,408 |
| RMIste/100habs | 1,000 | -0,252 | -0,025 | 0,199 | 0,068 | -0,070 | 0,070 |
| aéro trafic discrétisé-1 | -0,252 | 1,000 | -0,332 | -0,332 | -0,294 | 0,332 | -0,332 |
| aéro trafic discrétisé-2 | -0,025 | -0,332 | 1,000 | -0,375 | -0,332 | 0,375 | -0,375 |
| aéro trafic discrétisé-3 | 0,199 | -0,332 | -0,375 | 1,000 | -0,332 | 0,146 | -0,146 |
| aéro trafic discrétisé-4 | 0,068 | -0,294 | -0,332 | -0,332 | 1,000 | -0,886 | 0,886 |
| aéro schengen-0 | -0,070 | 0,332 | 0,375 | 0,146 | -0,886 | 1,000 | -1,000 |
| aéro schengen-1 | 0,070 | -0,332 | -0,375 | -0,146 | 0,886 | -1,000 | 1,000 |
| migrations frontalières-0 | -0,368 | 0,059 | 0,149 | 0,149 | -0,376 | 0,466 | -0,466 |
| migrations frontalières-1 | 0,370 | 0,101 | -0,243 | 0,351 | -0,215 | -0,054 | 0,054 |
| migrations frontalières-2 | 0,343 | -0,171 | 0,161 | -0,194 | 0,206 | -0,161 | 0,161 |
| migrations frontalières-3 | 0,383 | -0,118 | -0,134 | -0,134 | 0,402 | -0,356 | 0,356 |
| migrations frontalières-4 | -0,182 | 0,402 | -0,134 | -0,134 | -0,118 | 0,134 | -0,134 |
| migrations frontalières-5 | -0,063 | -0,118 | 0,356 | -0,134 | -0,118 | 0,134 | -0,134 |
| migrations frontalières-6 | -0,249 | -0,171 | -0,194 | -0,194 | 0,583 | -0,516 | 0,516 |
| M_incid | 0,018 | 0,012 | -0,365 | 0,030 | 0,344 | -0,348 | 0,348 |

| Variables | migrations frontalières- 0 | migrations frontalières- 1 | migrations frontalières- 2 | migrations frontalières- 3 | migrations frontalières- 4 | migrations frontalières- 5 | migrations frontalières- 6 | M_incid |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|
| solde touristique/pop | -0,379 | -0,051 | -0,048 | 0,442 | 0,055 | -0,079 | 0,462 | 0,501 |
| nbre lits hôpitaux/pop | -0,167 | 0,104 | -0,160 | 0,044 | 0,011 | 0,351 | 0,030 | -0,132 |
| grandes entreprises | 0,104 | -0,224 | 0,146 | -0,333 | 0,009 | 0,139 | 0,075 | 0,100 |
| enseignement sup/20-24 ans | -0,336 | 0,107 | 0,304 | 0,078 | -0,122 | -0,048 | 0,217 | 0,401 |
| gdes surfaces/pop | 0,105 | -0,027 | -0,008 | -0,332 | 0,245 | 0,295 | -0,293 | -0,159 |
| nœud ferro | -0,474 | 0,224 | -0,014 | 0,099 | 0,026 | 0,099 | 0,406 | 0,573 |
| densité | 0,059 | -0,142 | 0,088 | 0,013 | -0,081 | -0,048 | 0,063 | 0,052 |
| RMIs/100habs | -0,368 | 0,370 | 0,343 | 0,383 | -0,182 | -0,063 | -0,249 | 0,018 |
| aéro trafic discrétisé-1 | 0,059 | 0,101 | -0,171 | -0,118 | 0,402 | -0,118 | -0,171 | 0,012 |
| aéro trafic discrétisé-2 | 0,149 | -0,243 | 0,161 | -0,134 | -0,134 | 0,356 | -0,194 | -0,365 |
| aéro trafic discrétisé-3 | 0,149 | 0,351 | -0,194 | -0,134 | -0,134 | -0,134 | -0,194 | 0,030 |
| aéro trafic discrétisé-4 | -0,376 | -0,215 | 0,206 | 0,402 | -0,118 | -0,118 | 0,583 | 0,344 |
| aéro schengen-0 | 0,466 | -0,054 | -0,161 | -0,356 | 0,134 | 0,134 | -0,516 | -0,348 |
| aéro schengen-1 | -0,466 | 0,054 | 0,161 | 0,356 | -0,134 | -0,134 | 0,516 | 0,348 |
| migrations frontalières-0 | 1,000 | -0,435 | -0,346 | -0,239 | -0,239 | -0,239 | -0,346 | -0,373 |
| migrations frontalières-1 | -0,435 | 1,000 | -0,126 | -0,087 | -0,087 | -0,087 | -0,126 | 0,066 |
| migrations frontalières-2 | -0,346 | -0,126 | 1,000 | -0,069 | -0,069 | -0,069 | -0,100 | 0,050 |
| migrations frontalières-3 | -0,239 | -0,087 | -0,069 | 1,000 | -0,048 | -0,048 | -0,069 | 0,270 |
| migrations frontalières-4 | -0,239 | -0,087 | -0,069 | -0,048 | 1,000 | -0,048 | -0,069 | 0,051 |
| migrations frontalières-5 | -0,239 | -0,087 | -0,069 | -0,048 | -0,048 | 1,000 | -0,069 | -0,169 |
| migrations frontalières-6 | -0,346 | -0,126 | -0,100 | -0,069 | -0,069 | -0,069 | 1,000 | 0,407 |
| M_incid | -0,373 | 0,066 | 0,050 | 0,270 | 0,051 | -0,169 | 0,407 | 1,000 |

Régression de la variable M_incid :

Coefficients d'ajustement :

| | |
|-----------------------|--------|
| Observations | 22,000 |
| Somme des poids | 22,000 |
| DDL | 3,000 |
| R ² | 0,902 |
| R ² ajusté | 0,312 |
| MCE | 0,029 |
| RMCE | 0,169 |
| MAPE | 4,740 |
| DW | 2,980 |
| Cp | 19,000 |
| | - |
| AIC | 84,070 |
| | - |
| SBC | 63,340 |
| PC | 1,344 |

Analyse de la variance :

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle | 18 | 0,785 | 0,044 | 1,528 | 0,409 |
| Erreur | 3 | 0,086 | 0,029 | | |
| Total corrigé | 21 | 0,871 | | | |

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Analyse Type I Sum of Squares :

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|-------------------------------|-----|------------------------|--------------------------|-------|--------|
| solde touristique/pop | 1 | 0,218 | 0,218 | 7,653 | 0,070 |
| nbre lits hôpitaux/pop | 1 | 0,021 | 0,021 | 0,729 | 0,456 |
| grandes entreprises | 1 | 0,075 | 0,075 | 2,610 | 0,205 |
| enseignement sup/20-24 ans | 1 | 0,085 | 0,085 | 2,977 | 0,183 |
| gdes surfaces/pop | 1 | 0,044 | 0,044 | 1,538 | 0,303 |
| nœud ferro | 1 | 0,053 | 0,053 | 1,846 | 0,267 |
| densité | 1 | 0,001 | 0,001 | 0,039 | 0,856 |
| RMIste/100habs | 1 | 0,006 | 0,006 | 0,208 | 0,679 |
| aéro trafic discrétisé | 3 | 0,192 | 0,064 | 2,238 | 0,263 |
| aéro schengen | 1 | 0,001 | 0,001 | 0,031 | 0,872 |
| migrations frontalières | 6 | 0,090 | 0,015 | 0,527 | 0,769 |

Analyse Type III Sum of Squares :

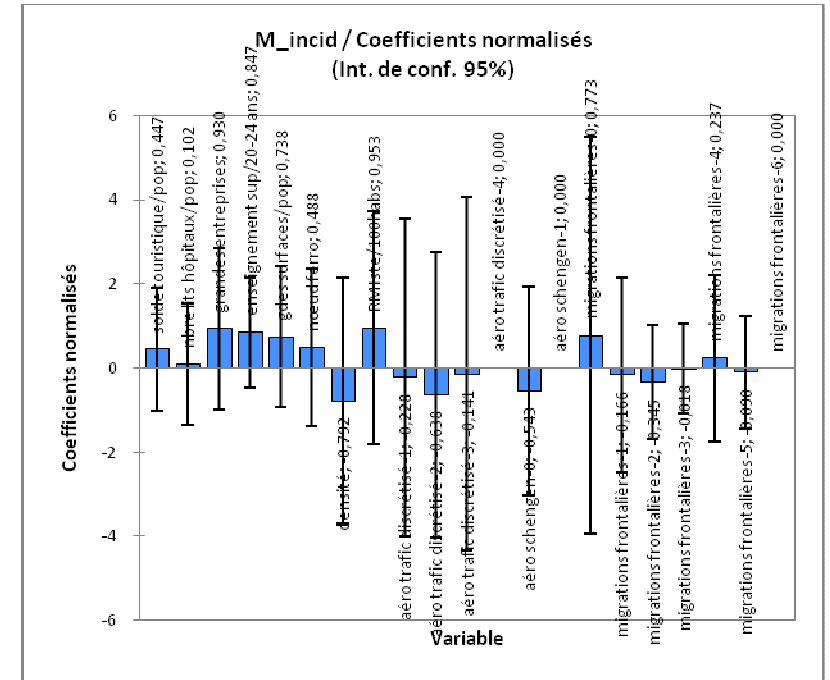
| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|-------------------------------|-----|------------------------|--------------------------|-------|--------|
| solde touristique/pop | 1 | 0,027 | 0,027 | 0,947 | 0,402 |
| nbre lits hôpitaux/pop | 1 | 0,001 | 0,001 | 0,050 | 0,837 |
| grandes entreprises | 1 | 0,067 | 0,067 | 2,357 | 0,222 |
| enseignement sup/20-24 ans | 1 | 0,121 | 0,121 | 4,248 | 0,131 |
| gdes surfaces/pop | 1 | 0,057 | 0,057 | 1,981 | 0,254 |
| nœud ferro | 1 | 0,020 | 0,020 | 0,689 | 0,467 |
| densité | 1 | 0,021 | 0,021 | 0,731 | 0,455 |
| RMIste/100habs | 1 | 0,034 | 0,034 | 1,201 | 0,353 |
| aéro trafic discrétisé | 3 | 0,086 | 0,029 | 1,000 | 0,500 |
| aéro schengen | 1 | 0,014 | 0,014 | 0,489 | 0,535 |
| migrations frontalières | 6 | 0,090 | 0,015 | 0,527 | 0,769 |

Paramètres du modèle :

| Source | Valeur | Ecart-type | t | Pr > t | Borne inférieure (95%) | Borne supérieure (95%) |
|----------------------------|----------|------------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| Constante | -2,533 | 1,813 | -1,397 | 0,257 | -8,301 | 3,236 |
| solde touristique/pop | 7,312 | 7,512 | 0,973 | 0,402 | -16,595 | 31,219 |
| nbre lits hôpitaux/pop | 54,677 | 244,054 | 0,224 | 0,837 | -722,012 | 831,366 |
| grandes entreprises | 0,851 | 0,554 | 1,535 | 0,222 | -0,913 | 2,614 |
| enseignement sup/20-24 ans | 1,747 | 0,848 | 2,061 | 0,131 | -0,951 | 4,445 |
| gdes surfaces/pop | 5626,204 | 3997,784 | 1,407 | 0,254 | -7096,541 | 18348,950 |
| nœud ferro | 0,032 | 0,039 | 0,830 | 0,467 | -0,091 | 0,156 |
| densité | -0,001 | 0,001 | -0,855 | 0,455 | -0,004 | 0,002 |
| RMIste/100habs | 0,019 | 0,017 | 1,096 | 0,353 | -0,036 | 0,073 |
| aéro trafic discrétisé-1 | -0,108 | 0,564 | -0,192 | 0,860 | -1,904 | 1,687 |
| aéro trafic discrétisé-2 | -0,285 | 0,478 | -0,596 | 0,593 | -1,807 | 1,237 |
| aéro trafic discrétisé-3 | -0,063 | 0,589 | -0,107 | 0,922 | -1,937 | 1,812 |
| aéro trafic discrétisé-4 | 0,000 | 0,000 | | | | |
| aéro schengen-0 | -0,242 | 0,347 | -0,699 | 0,535 | -1,346 | 0,861 |
| aéro schengen-1 | 0,000 | 0,000 | | | | |
| migrations frontalières-0 | 0,309 | 0,592 | 0,522 | 0,638 | -1,574 | 2,192 |
| migrations frontalières-1 | -0,096 | 0,424 | -0,227 | 0,835 | -1,445 | 1,252 |
| migrations frontalières-2 | -0,239 | 0,294 | -0,813 | 0,476 | -1,175 | 0,697 |
| migrations frontalières-3 | -0,017 | 0,319 | -0,053 | 0,961 | -1,033 | 0,999 |
| migrations frontalières-4 | 0,227 | 0,596 | 0,381 | 0,729 | -1,670 | 2,124 |
| migrations frontalières-5 | -0,086 | 0,402 | -0,215 | 0,843 | -1,365 | 1,192 |
| migrations frontalières-6 | 0,000 | 0,000 | | | | |

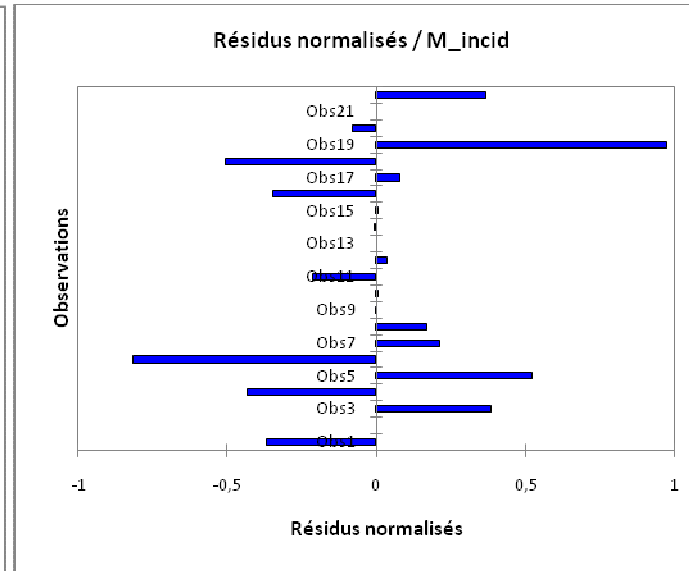
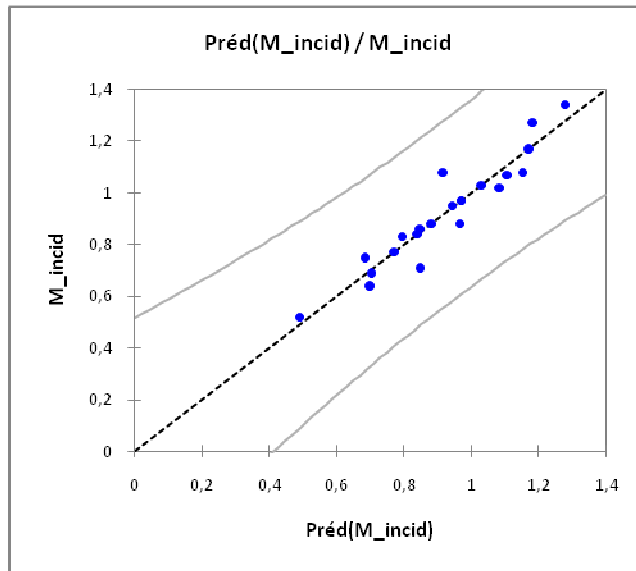
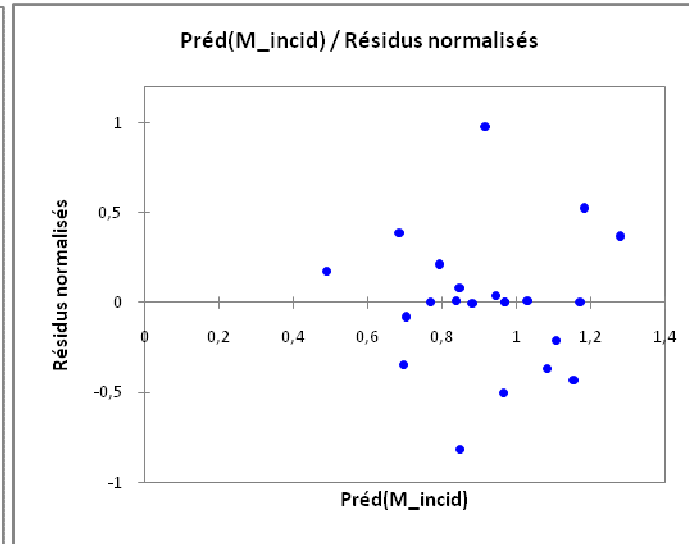
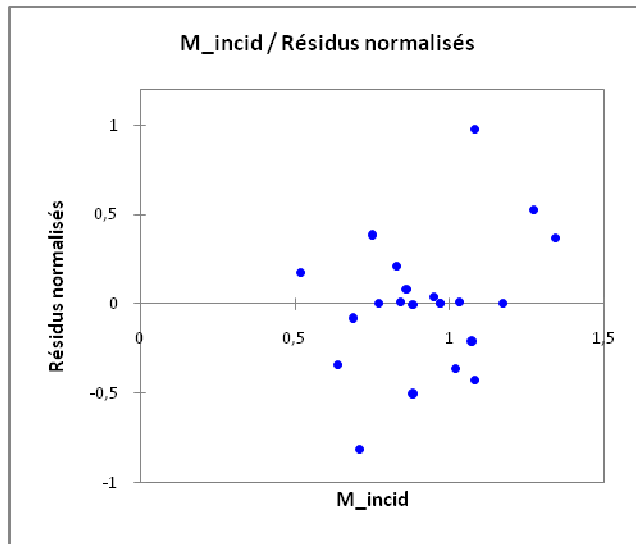
Coefficients normalisés :

| Source | Valeur | Ecart-type | t | Pr > t | Borne inférieure (95%) | Borne supérieure (95%) |
|----------------------------|--------|------------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| solde touristique/pop | 0,447 | 0,460 | 0,973 | 0,402 | -1,016 | 1,911 |
| nbre lits hôpitaux/pop | 0,102 | 0,454 | 0,224 | 0,837 | -1,342 | 1,545 |
| grandes entreprises | 0,930 | 0,606 | 1,535 | 0,222 | -0,998 | 2,858 |
| enseignement sup/20-24 ans | 0,847 | 0,411 | 2,061 | 0,131 | -0,461 | 2,154 |
| gdes surfaces/pop | 0,738 | 0,525 | 1,407 | 0,254 | -0,931 | 2,408 |
| nœud ferro | 0,488 | 0,587 | 0,830 | 0,467 | -1,382 | 2,357 |
| densité | -0,792 | 0,926 | -0,855 | 0,455 | -3,738 | 2,155 |
| RMIste/100habs | 0,953 | 0,870 | 1,096 | 0,353 | -1,816 | 3,722 |
| aéro trafic discrétisé-1 | -0,228 | 1,188 | -0,192 | 0,860 | -4,010 | 3,554 |
| aéro trafic discrétisé-2 | -0,638 | 1,071 | -0,596 | 0,593 | -4,045 | 2,770 |
| aéro trafic discrétisé-3 | -0,141 | 1,318 | -0,107 | 0,922 | -4,336 | 4,055 |
| aéro trafic discrétisé-4 | 0,000 | 0,000 | | | | |
| aéro schengen-0 | -0,543 | 0,776 | -0,699 | 0,535 | -3,013 | 1,927 |
| aéro schengen-1 | 0,000 | 0,000 | | | | |
| migrations frontalières-0 | 0,773 | 1,481 | 0,522 | 0,638 | -3,939 | 5,485 |
| migrations frontalières-1 | -0,166 | 0,731 | -0,227 | 0,835 | -2,492 | 2,160 |
| migrations frontalières-2 | -0,345 | 0,425 | -0,813 | 0,476 | -1,698 | 1,007 |
| migrations frontalières-3 | -0,018 | 0,334 | -0,053 | 0,961 | -1,082 | 1,046 |
| migrations frontalières-4 | 0,237 | 0,624 | 0,381 | 0,729 | -1,748 | 2,223 |
| migrations frontalières-5 | -0,090 | 0,421 | -0,215 | 0,843 | -1,429 | 1,248 |
| migrations frontalières-6 | 0,000 | 0,000 | | | | |

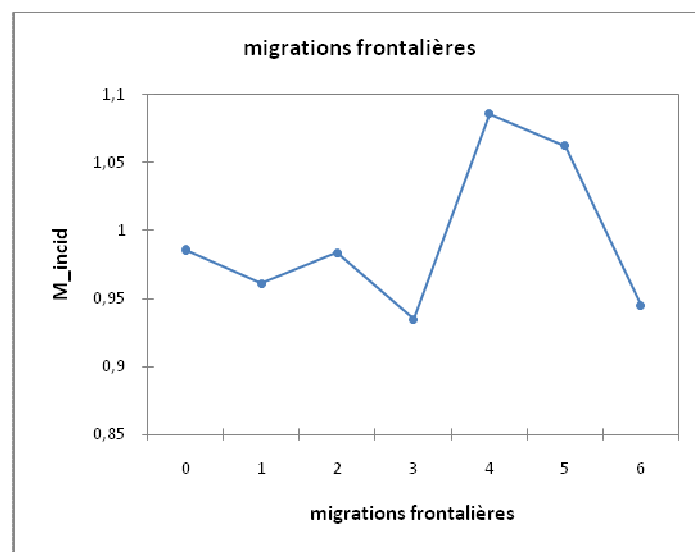
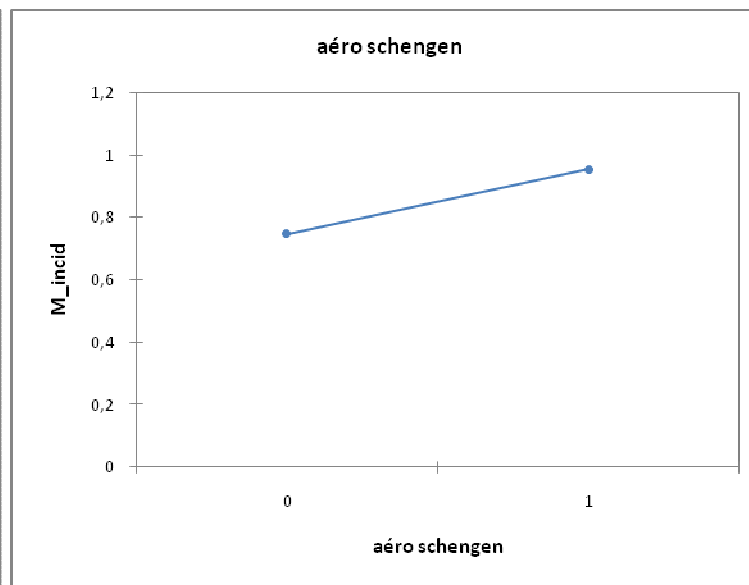
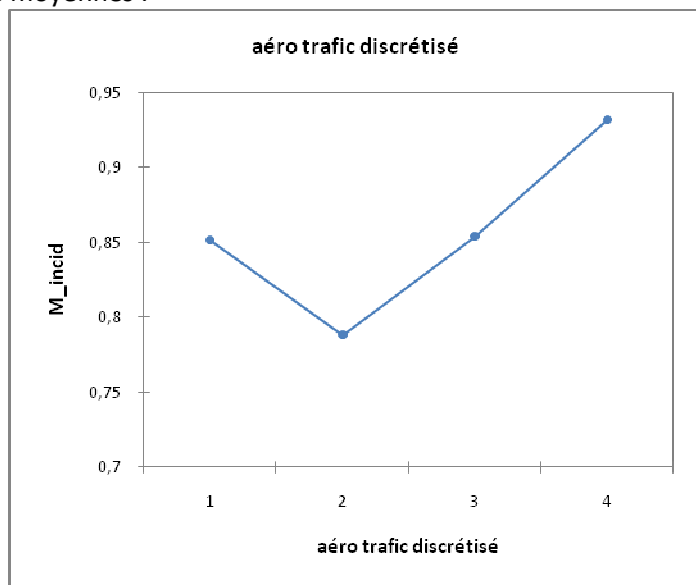


Prédictions et
résidus :

| Observation | Poids | M_incid | Préd(M_incid) | Résidu | Résidu std. | Ecart-type sur la préd. (Moyenne) | Borne inférieure 95% (Moyenne) | Borne supérieure 95% (Moyenne) | Ecart-type sur la préd. (Observation) | Borne inférieure 95% (Observation) | Borne supérieure 95% (Observation) |
|-------------|-------|---------|---------------|--------|----------------|---|---|---|---|--|---|
| Obs1 | 1 | 1,020 | 1,082 | -0,062 | -0,367 | 0,161 | 0,569 | 1,596 | 0,234 | 0,339 | 1,826 |
| Obs2 | 1 | 0,970 | 0,970 | 0,000 | 0,000 | 0,169 | 0,432 | 1,508 | 0,239 | 0,210 | 1,730 |
| Obs3 | 1 | 0,750 | 0,685 | 0,065 | 0,384 | 0,149 | 0,211 | 1,160 | 0,225 | -0,032 | 1,402 |
| Obs4 | 1 | 1,080 | 1,153 | -0,073 | -0,431 | 0,136 | 0,720 | 1,585 | 0,217 | 0,463 | 1,843 |
| Obs5 | 1 | 1,270 | 1,181 | 0,089 | 0,524 | 0,161 | 0,670 | 1,693 | 0,233 | 0,439 | 1,923 |
| Obs6 | 1 | 0,710 | 0,848 | -0,138 | -0,816 | 0,111 | 0,493 | 1,202 | 0,202 | 0,204 | 1,492 |
| Obs7 | 1 | 0,830 | 0,794 | 0,036 | 0,211 | 0,165 | 0,268 | 1,321 | 0,236 | 0,042 | 1,547 |
| Obs8 | 1 | 0,520 | 0,491 | 0,029 | 0,172 | 0,167 | -0,041 | 1,023 | 0,238 | -0,265 | 1,247 |
| Obs9 | 1 | 0,970 | 0,970 | 0,000 | 0,000 | 0,169 | 0,432 | 1,508 | 0,239 | 0,210 | 1,730 |
| Obs10 | 1 | 0,840 | 0,839 | 0,001 | 0,006 | 0,169 | 0,301 | 1,377 | 0,239 | 0,079 | 1,599 |
| Obs11 | 1 | 1,070 | 1,106 | -0,036 | -0,211 | 0,165 | 0,579 | 1,632 | 0,236 | 0,353 | 1,858 |
| Obs12 | 1 | 0,950 | 0,944 | 0,006 | 0,036 | 0,155 | 0,449 | 1,439 | 0,230 | 0,213 | 1,675 |
| Obs13 | 1 | 0,770 | 0,770 | 0,000 | 0,000 | 0,169 | 0,232 | 1,308 | 0,239 | 0,010 | 1,530 |
| Obs14 | 1 | 0,880 | 0,881 | -0,001 | -0,006 | 0,169 | 0,343 | 1,419 | 0,239 | 0,121 | 1,641 |
| Obs15 | 1 | 1,030 | 1,029 | 0,001 | 0,006 | 0,169 | 0,491 | 1,567 | 0,239 | 0,269 | 1,789 |
| Obs16 | 1 | 0,640 | 0,698 | -0,058 | -0,345 | 0,154 | 0,208 | 1,188 | 0,229 | -0,029 | 1,426 |
| Obs17 | 1 | 0,860 | 0,846 | 0,014 | 0,080 | 0,147 | 0,378 | 1,315 | 0,224 | 0,133 | 1,560 |
| Obs18 | 1 | 0,880 | 0,965 | -0,085 | -0,505 | 0,149 | 0,492 | 1,439 | 0,225 | 0,249 | 1,682 |
| Obs19 | 1 | 1,080 | 0,915 | 0,165 | 0,975 | 0,127 | 0,510 | 1,320 | 0,212 | 0,242 | 1,588 |
| Obs20 | 1 | 0,690 | 0,704 | -0,014 | -0,081 | 0,145 | 0,241 | 1,166 | 0,223 | -0,006 | 1,413 |
| Obs21 | 1 | 1,170 | 1,170 | 0,000 | 0,000 | 0,169 | 0,632 | 1,708 | 0,239 | 0,410 | 1,930 |
| Obs22 | 1 | 1,340 | 1,278 | 0,062 | 0,367 | 0,161 | 0,764 | 1,791 | 0,234 | 0,534 | 2,021 |



Graphiques des moyennes :



ANNEXE V - Sortie XL-Stats : ACP

Statistiques descriptives :

| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|--|--------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| Total 00-19 ans (%) (princ) | 22 | 0 | 22 | 20,400 | 27,900 | 24,468 | 1,872 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | 22 | 0 | 22 | 16,300 | 28,800 | 22,050 | 3,019 |
| Actifs occupés (%) (princ) | 22 | 0 | 22 | 36,700 | 45,900 | 41,395 | 2,189 |
| Ménages 3 personnes ou plus (%) | 22 | 0 | 22 | 28,500 | 39,500 | 33,955 | 2,823 |
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | 22 | 0 | 22 | 21,500 | 38,900 | 35,027 | 3,961 |

Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

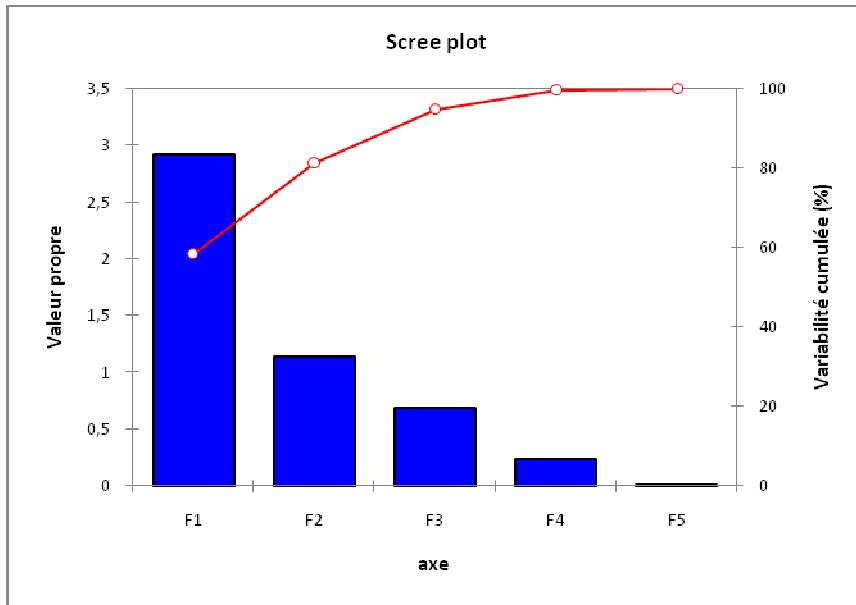
| Variables | Total 00-19 ans (%) (princ) | Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | Actifs occupés (%) (princ) | Ménages 3 personnes ou plus (%) | Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|
| Total 00-19 ans (%) (princ) | 1 | -0,908 | 0,251 | 0,728 | -0,289 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | -0,908 | 1 | -0,446 | -0,809 | 0,427 |
| Actifs occupés (%) (princ) | 0,251 | -0,446 | 1 | 0,028 | 0,090 |
| Ménages 3 personnes ou plus (%) | 0,728 | -0,809 | 0,028 | 1 | -0,365 |
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | -0,289 | 0,427 | 0,090 | -0,365 | 1 |

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Analyse en Composantes Principales :

Valeurs propres :

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Valeur propre | 2,920 | 1,141 | 0,686 | 0,238 | 0,015 |
| Variabilité (%) | 58,403 | 22,829 | 13,722 | 4,751 | 0,295 |
| % cumulé | 58,403 | 81,232 | 94,954 | 99,705 | 100,000 |



Vecteurs propres :

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Total 00-19 ans (%) (princ) | -0,535 | 0,062 | 0,263 | -0,684 | 0,417 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | 0,577 | -0,124 | 0,014 | 0,034 | 0,806 |
| Actifs occupés (%) (princ) | -0,197 | 0,804 | -0,445 | 0,217 | 0,264 |
| Ménages 3 personnes ou plus (%) | -0,505 | -0,206 | 0,364 | 0,695 | 0,294 |
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | 0,296 | 0,540 | 0,775 | 0,029 | -0,143 |

Coordonnées des variables :

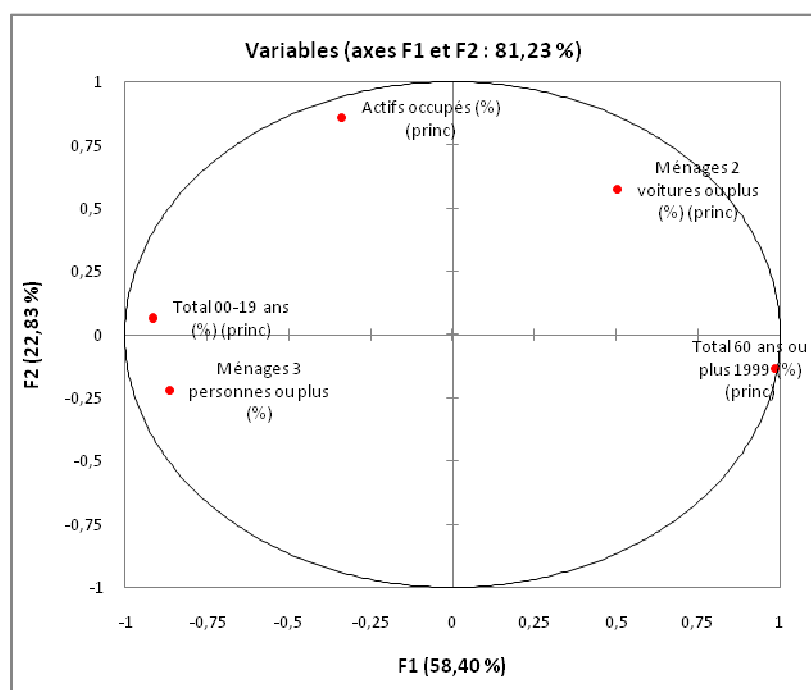
| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Total 00-19 ans (%) (princ) | -0,913 | 0,066 | 0,218 | -0,333 | 0,051 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | 0,986 | -0,133 | 0,011 | 0,017 | 0,098 |
| Actifs occupés (%) (princ) | -0,337 | 0,859 | -0,368 | 0,106 | 0,032 |
| Ménages 3 personnes ou plus | -0,863 | -0,220 | 0,302 | 0,339 | 0,036 |

(%)

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | 0,505 | 0,577 | 0,642 | 0,014 | -0,017 |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|

Corrélations entre les variables et les facteurs :

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Total 00-19 ans (%) (princ) | -0,913 | 0,066 | 0,218 | -0,333 | 0,051 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | 0,986 | -0,133 | 0,011 | 0,017 | 0,098 |
| Actifs occupés (%) (princ) | -0,337 | 0,859 | -0,368 | 0,106 | 0,032 |
| Ménages 3 personnes ou plus (%) | -0,863 | -0,220 | 0,302 | 0,339 | 0,036 |
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | 0,505 | 0,577 | 0,642 | 0,014 | -0,017 |



Contributions des variables (%) :

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Total 00-19 ans (%) (princ) | 28,574 | 0,386 | 6,934 | 46,751 | 17,356 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | 33,299 | 1,545 | 0,018 | 0,116 | 65,021 |
| Actifs occupés (%) (princ) | 3,898 | 64,679 | 19,782 | 4,695 | 6,946 |
| Ménages 3 personnes ou plus | 25,489 | 4,253 | 13,263 | 48,352 | 8,643 |

(%)

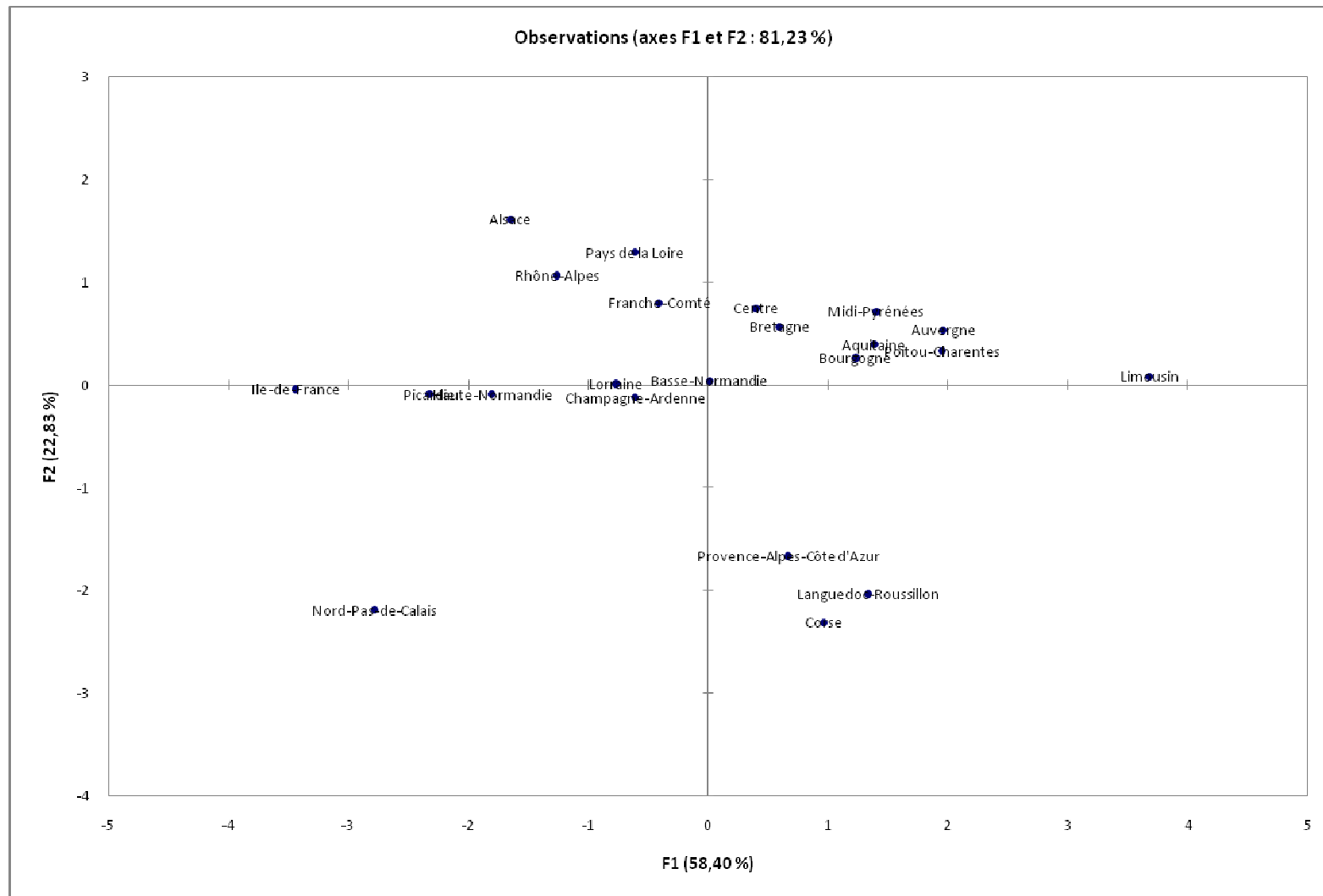
| | | | | | |
|---|-------|--------|--------|-------|-------|
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | 8,740 | 29,137 | 60,003 | 0,086 | 2,034 |
|---|-------|--------|--------|-------|-------|

Cosinus carrés des variables :

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Total 00-19 ans (%) (princ) | 0,834 | 0,004 | 0,048 | 0,111 | 0,003 |
| Total 60 ans ou plus 1999 (%) (princ) | 0,972 | 0,018 | 0,000 | 0,000 | 0,010 |
| Actifs occupés (%) (princ) | 0,114 | 0,738 | 0,136 | 0,011 | 0,001 |
| Ménages 3 personnes ou plus (%) | 0,744 | 0,049 | 0,091 | 0,115 | 0,001 |
| Ménages 2 voitures ou plus (%) (princ) | 0,255 | 0,333 | 0,412 | 0,000 | 0,000 |

Coordonnées des observations :

| Observation | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ile-de-France | -3,436 | -0,038 | -3,165 | 0,131 | 0,084 |
| Champagne- Ardenne | -0,604 | -0,118 | -0,296 | -0,395 | -0,258 |
| Picardie | -2,321 | -0,086 | 1,122 | 0,315 | 0,165 |
| Haute-Normandie | -1,801 | -0,087 | 0,213 | -0,222 | -0,001 |
| Centre | 0,401 | 0,753 | 0,067 | -0,204 | 0,068 |
| Basse-Normandie | 0,014 | 0,046 | 0,248 | -0,373 | 0,072 |
| Bourgogne | 1,235 | 0,269 | -0,524 | -0,289 | -0,001 |
| Nord-Pas-de-Calais | -2,776 | -2,184 | 0,971 | -0,328 | 0,113 |
| Lorraine | -0,765 | 0,017 | 0,298 | 0,272 | -0,160 |
| Alsace | -1,642 | 1,612 | 0,540 | 0,902 | -0,116 |
| Franche-Comté | -0,407 | 0,801 | 0,170 | -0,218 | -0,146 |
| Pays de la Loire | -0,606 | 1,293 | 0,661 | -0,287 | 0,151 |
| Bretagne | 0,598 | 0,572 | 0,273 | -0,504 | 0,118 |
| Poitou-Charentes | 1,955 | 0,334 | 0,150 | -0,197 | -0,018 |
| Aquitaine | 1,388 | 0,398 | 0,240 | 0,295 | -0,003 |
| Midi-Pyrénées | 1,406 | 0,721 | 0,224 | 0,274 | 0,078 |
| Limousin | 3,680 | 0,084 | -0,838 | 0,197 | 0,223 |
| Rhône-Alpes | -1,257 | 1,070 | 0,249 | -0,001 | -0,054 |
| Auvergne | 1,961 | 0,540 | -0,536 | 0,184 | -0,162 |
| Languedoc- Roussillon | 1,339 | -2,030 | 0,262 | -0,678 | -0,133 |
| Provence-Alpes- Côte d'Azur | 0,670 | -1,660 | -0,464 | -0,410 | -0,017 |
| Corse | 0,969 | -2,307 | 0,136 | 1,537 | -0,002 |



Contributions des observations (%) :

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ile-de-France | 18,381 | 0,006 | 66,360 | 0,327 | 2,157 |
| Champagne- Ardenne | 0,568 | 0,056 | 0,580 | 2,980 | 20,525 |
| Picardie | 8,385 | 0,029 | 8,336 | 1,901 | 8,410 |
| Haute-Normandie | 5,051 | 0,030 | 0,302 | 0,944 | 0,000 |
| Centre | 0,251 | 2,255 | 0,030 | 0,793 | 1,408 |
| Basse-Normandie | 0,000 | 0,008 | 0,407 | 2,663 | 1,579 |
| Bourgogne | 2,373 | 0,288 | 1,817 | 1,603 | 0,001 |
| Nord-Pas-de-Calais | 12,000 | 18,990 | 6,244 | 2,062 | 3,970 |
| Lorraine | 0,911 | 0,001 | 0,588 | 1,411 | 7,909 |
| Alsace | 4,195 | 10,346 | 1,929 | 15,553 | 4,183 |
| Franche-Comté | 0,258 | 2,555 | 0,191 | 0,908 | 6,612 |
| Pays de la Loire | 0,573 | 6,662 | 2,893 | 1,571 | 7,027 |
| Bretagne | 0,557 | 1,301 | 0,492 | 4,858 | 4,314 |
| Poitou-Charentes | 5,951 | 0,445 | 0,150 | 0,746 | 0,096 |
| Aquitaine | 3,000 | 0,629 | 0,381 | 1,666 | 0,002 |
| Midi-Pyrénées | 3,076 | 2,070 | 0,332 | 1,434 | 1,866 |
| Limousin | 21,076 | 0,028 | 4,650 | 0,740 | 15,368 |
| Rhône-Alpes | 2,460 | 4,563 | 0,410 | 0,000 | 0,884 |
| Auvergne | 5,983 | 1,160 | 1,906 | 0,647 | 8,141 |
| Languedoc- Roussillon | 2,792 | 16,413 | 0,454 | 8,784 | 5,459 |
| Provence-Alpes- Côte d'Azur | 0,700 | 10,967 | 1,426 | 3,209 | 0,087 |
| Corse | 1,461 | 21,195 | 0,122 | 45,199 | 0,001 |

Cosinus carrés des observations :

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ile-de-France | 0,540 | 0,000 | 0,458 | 0,001 | 0,000 |
| Champagne- Ardenne | 0,530 | 0,020 | 0,127 | 0,226 | 0,097 |
| Picardie | 0,795 | 0,001 | 0,186 | 0,015 | 0,004 |
| Haute-Normandie | 0,969 | 0,002 | 0,014 | 0,015 | 0,000 |
| Centre | 0,207 | 0,728 | 0,006 | 0,053 | 0,006 |
| Basse-Normandie | 0,001 | 0,010 | 0,295 | 0,669 | 0,025 |
| Bourgogne | 0,780 | 0,037 | 0,140 | 0,043 | 0,000 |
| Nord-Pas-de-Calais | 0,569 | 0,352 | 0,070 | 0,008 | 0,001 |
| Lorraine | 0,756 | 0,000 | 0,115 | 0,095 | 0,033 |
| Alsace | 0,420 | 0,405 | 0,045 | 0,127 | 0,002 |
| Franche-Comté | 0,183 | 0,709 | 0,032 | 0,052 | 0,024 |
| Pays de la Loire | 0,142 | 0,648 | 0,169 | 0,032 | 0,009 |
| Bretagne | 0,348 | 0,318 | 0,072 | 0,247 | 0,014 |
| Poitou-Charentes | 0,957 | 0,028 | 0,006 | 0,010 | 0,000 |
| Aquitaine | 0,864 | 0,071 | 0,026 | 0,039 | 0,000 |
| Midi-Pyrénées | 0,752 | 0,198 | 0,019 | 0,029 | 0,002 |
| Limousin | 0,944 | 0,000 | 0,049 | 0,003 | 0,003 |
| Rhône-Alpes | 0,566 | 0,411 | 0,022 | 0,000 | 0,001 |
| Auvergne | 0,857 | 0,065 | 0,064 | 0,008 | 0,006 |
| Languedoc- Roussillon | 0,278 | 0,638 | 0,011 | 0,071 | 0,003 |
| Provence-Alpes- Côte d'Azur | 0,125 | 0,768 | 0,060 | 0,047 | 0,000 |
| Corse | 0,109 | 0,616 | 0,002 | 0,273 | 0,000 |

ANNEXE VI - Sortie XL-Stats : ANOVA

Statistiques descriptives :

| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|--|--------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| M_totale | 21 | 0 | 21 | 121,261 | 244,494 | 170,071 | 32,965 |
| solde touristique | 21 | 0 | 21 | -154347,667 | 253345,000 | 21740,159 | 73162,265 |
| nombre de lits d'hôpitaux grandes entreprises | 21 | 0 | 21 | 3280,000 | 41402,000 | 10726,429 | 8402,158 |
| enseignement sup | 21 | 0 | 21 | 0,510 | 1,262 | 0,867 | 0,202 |
| grandes surfaces | 21 | 0 | 21 | 22166,000 | 599281,000 | 106347,905 | 124664,780 |
| densité | 21 | 0 | 21 | 167,000 | 1621,000 | 517,286 | 320,536 |
| Précocité | 21 | 0 | 21 | 42,792 | 956,605 | 145,909 | 197,153 |
| ACP_F1 | 21 | 0 | 21 | 74,000 | 155,000 | 104,333 | 22,874 |
| ACP_2 | 21 | 0 | 21 | -3,436 | 3,680 | -0,046 | 1,778 |
| | 21 | 0 | 21 | -2,184 | 1,612 | 0,110 | 0,988 |

Matrice de corrélation :

| Variables | solde touristique | nombre de lits d'hôpitaux | grandes entreprises | enseignement sup | grandes surfaces | densité | Précocité | ACP_F1 | ACP_F2 | M_totale |
|------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| solde touristique | 1,000 | -0,101 | -0,366 | -0,224 | -0,136 | -0,476 | 0,320 | 0,210 | -0,018 | 0,581 |
| nombre de lits d'hôpitaux | -0,101 | 1,000 | -0,048 | 0,983 | 0,978 | 0,876 | 0,235 | -0,501 | -0,145 | 0,232 |
| grandes entreprises | -0,366 | -0,048 | 1,000 | -0,016 | 0,053 | 0,200 | 0,109 | -0,679 | 0,102 | -0,185 |
| enseignement sup | -0,224 | 0,983 | -0,016 | 1,000 | 0,956 | 0,926 | 0,197 | -0,501 | -0,106 | 0,152 |
| grandes surfaces | -0,136 | 0,978 | 0,053 | 0,956 | 1,000 | 0,862 | 0,247 | -0,552 | -0,178 | 0,259 |
| densité | -0,476 | 0,876 | 0,200 | 0,926 | 0,862 | 1,000 | 0,241 | -0,615 | -0,153 | -0,022 |
| Précocité | 0,320 | 0,235 | 0,109 | 0,197 | 0,247 | 0,241 | 1,000 | -0,407 | -0,200 | 0,670 |
| ACP_F1 | 0,210 | -0,501 | -0,679 | -0,501 | -0,552 | -0,615 | -0,407 | 1,000 | 0,067 | -0,062 |
| ACP_2 | -0,018 | -0,145 | 0,102 | -0,106 | -0,178 | -0,153 | -0,200 | 0,067 | 1,000 | -0,141 |
| M_totale | 0,581 | 0,232 | -0,185 | 0,152 | 0,259 | -0,022 | 0,670 | -0,062 | -0,141 | 1,000 |

Régression de la variable M_totale :

Coefficients d'ajustement :

| | |
|-----------------------|---------|
| Observations | 21,000 |
| Somme des poids | 21,000 |
| DDL | 11,000 |
| R ² | 0,791 |
| R ² ajusté | 0,620 |
| MCE | 413,426 |
| RMCE | 20,333 |
| MAPE | 7,090 |
| DW | 2,292 |
| Cp | 10,000 |
| AIC | 132,935 |
| SBC | 143,380 |
| PC | 0,590 |

Analyse de la variance :

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle | 9 | 17185,491 | 1909,499 | 4,619 | 0,010 |
| Erreur | 11 | 4547,684 | 413,426 | | |
| Total corrigé | 20 | 21733,175 | | | |

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Paramètres du modèle :

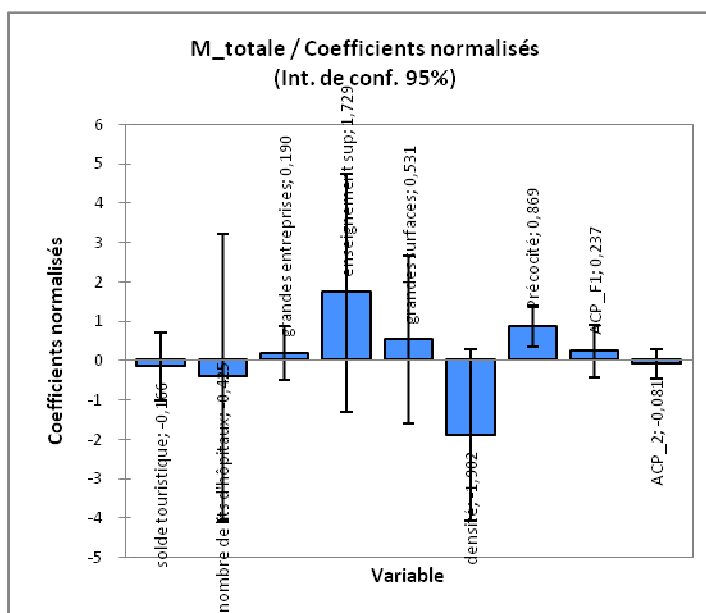
| Source | Valeur | Ecart-type | t | Pr > t | Borne inférieure (95%) | Borne supérieure (95%) |
|---------------------------|--------|------------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| Constante | 2,025 | 62,074 | 0,033 | 0,975 | -134,599 | 138,649 |
| solde touristique | 0,000 | 0,000 | -0,423 | 0,681 | 0,000 | 0,000 |
| nombre de lits d'hôpitaux | -0,002 | 0,007 | -0,256 | 0,802 | -0,016 | 0,013 |
| grandes entreprises | 30,951 | 49,866 | 0,621 | 0,547 | -78,803 | 140,705 |
| enseignement sup | 0,000 | 0,000 | 1,256 | 0,235 | 0,000 | 0,001 |
| grandes surfaces | 0,055 | 0,099 | 0,551 | 0,592 | -0,163 | 0,273 |
| densité | -0,318 | 0,166 | -1,918 | 0,081 | -0,683 | 0,047 |
| Précocité | 1,253 | 0,335 | 3,737 | 0,003 | 0,515 | 1,991 |
| ACP_F1 | 4,392 | 5,688 | 0,772 | 0,456 | -8,127 | 16,911 |
| ACP_2 | -2,688 | 5,583 | -0,481 | 0,640 | -14,975 | 9,600 |

Equation du modèle :

$M_{totale} = 2,02519439899358 - 7,47803451565964E-05 * \text{solde touristique} - 1,66705865882858E-03 * \text{nombre de lits d'hôpitaux} + 30,9508476719123 * \text{grandes entreprises} + 4,5704 * \text{enseignement sup} + 5,46379368851096E-02 * \text{grandes surfaces} - 0,317992592283311 * \text{densité} + 1,2528926791303 * \text{Précocité} + 4,3921475732339 * \text{ACP_F1} - 2,68772493771357 * \text{ACP_2}$

Coefficients normalisés :

| Source | Valeur | Ecart-type | t | Pr > t | Borne inférieure (95%) | Borne supérieure (95%) |
|---------------------------|--------|------------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| solde touristique | -0,166 | 0,393 | -0,423 | 0,681 | -1,030 | 0,698 |
| nombre de lits d'hôpitaux | -0,425 | 1,658 | -0,256 | 0,802 | -4,074 | 3,224 |
| grandes entreprises | 0,190 | 0,306 | 0,621 | 0,547 | -0,483 | 0,863 |
| enseignement sup | 1,729 | 1,377 | 1,256 | 0,235 | -1,302 | 4,759 |
| grandes surfaces | 0,531 | 0,963 | 0,551 | 0,592 | -1,589 | 2,652 |
| densité | -1,902 | 0,992 | -1,918 | 0,081 | -4,084 | 0,281 |
| Précocité | 0,869 | 0,233 | 3,737 | 0,003 | 0,357 | 1,381 |
| ACP_F1 | 0,237 | 0,307 | 0,772 | 0,456 | -0,438 | 0,912 |
| ACP_2 | -0,081 | 0,167 | -0,481 | 0,640 | -0,449 | 0,288 |



Prédictions et résidus :

| Observation | Poids | M_totale | Préd(M_totale) | Résidu | Résidu std. | Ecart-type sur la préd. (Moyenne) | Borne inférieure 95% (Moyenne) | Borne supérieure 95% (Moyenne) | Ecart-type sur la préd. (Observation) | Borne inférieure 95% (Observation) | Borne supérieure 95% (Observation) |
|--------------------------------|-------|----------|----------------|---------|----------------|---|---|---|---|---|---|
| Alsace | 1 | 177,507 | 182,180 | -4,673 | -0,230 | 17,544 | 143,566 | 220,795 | 26,856 | 123,071 | 241,289 |
| Aquitaine | 1 | 182,836 | 175,520 | 7,316 | 0,360 | 13,034 | 146,831 | 204,209 | 24,152 | 122,362 | 228,678 |
| Auvergne | 1 | 129,884 | 150,623 | -20,739 | -1,020 | 8,886 | 131,065 | 170,181 | 22,190 | 101,783 | 199,462 |
| Bourgogne | 1 | 193,050 | 200,406 | -7,356 | -0,362 | 13,674 | 170,310 | 230,502 | 24,503 | 146,475 | 254,337 |
| Bretagne | 1 | 225,159 | 193,740 | 31,418 | 1,545 | 13,250 | 164,578 | 222,903 | 24,269 | 140,325 | 247,156 |
| Centre | 1 | 130,548 | 146,356 | -15,808 | -0,777 | 10,745 | 122,707 | 170,005 | 22,997 | 95,739 | 196,973 |
| Champagne- Ardenne | 1 | 147,876 | 136,313 | 11,563 | 0,569 | 13,227 | 107,200 | 165,426 | 24,257 | 82,925 | 189,702 |
| Franche-Comté | 1 | 172,215 | 159,572 | 12,643 | 0,622 | 9,940 | 137,694 | 181,450 | 22,633 | 109,758 | 209,386 |
| Ile-de-France | 1 | 151,253 | 147,933 | 3,320 | 0,163 | 20,192 | 103,492 | 192,374 | 28,655 | 84,863 | 211,003 |
| Languedoc- Roussillon | 1 | 193,859 | 191,106 | 2,752 | 0,135 | 15,992 | 155,907 | 226,305 | 25,869 | 134,170 | 248,042 |
| Limousin | 1 | 177,674 | 150,915 | 26,759 | 1,316 | 15,562 | 116,664 | 185,166 | 25,604 | 94,560 | 207,270 |
| Lorraine | 1 | 140,549 | 147,434 | -6,885 | -0,339 | 9,732 | 126,015 | 168,854 | 22,542 | 97,820 | 197,049 |
| Midi-Pyrénées | 1 | 158,601 | 185,827 | -27,227 | -1,339 | 12,431 | 158,467 | 213,188 | 23,832 | 133,374 | 238,281 |
| Nord-Pas-de-Calais | 1 | 183,015 | 199,285 | -16,270 | -0,800 | 17,828 | 160,045 | 238,524 | 27,042 | 139,766 | 258,804 |
| Basse-Normandie | 1 | 121,261 | 115,840 | 5,421 | 0,267 | 14,810 | 83,244 | 148,436 | 25,155 | 60,475 | 171,205 |
| Haute-Normandie | 1 | 149,252 | 151,540 | -2,288 | -0,113 | 9,501 | 130,629 | 172,451 | 22,443 | 102,143 | 200,937 |
| Pays-de-la-Loire | 1 | 159,820 | 160,540 | -0,720 | -0,035 | 10,328 | 137,809 | 183,271 | 22,805 | 110,346 | 210,734 |
| Picardie | 1 | 192,180 | 176,637 | 15,543 | 0,764 | 12,420 | 149,301 | 203,973 | 23,826 | 124,196 | 229,078 |
| Poitou-Charentes | 1 | 130,350 | 149,880 | -19,530 | -0,961 | 9,566 | 128,825 | 170,934 | 22,471 | 100,422 | 199,337 |
| Provence-Alpes- Côte-d'Azur | 1 | 210,112 | 207,881 | 2,232 | 0,110 | 17,619 | 169,101 | 246,660 | 26,905 | 148,664 | 267,098 |
| Rhône-Alpes | 1 | 244,494 | 241,967 | 2,527 | 0,124 | 19,511 | 199,023 | 284,911 | 28,180 | 179,943 | 303,991 |

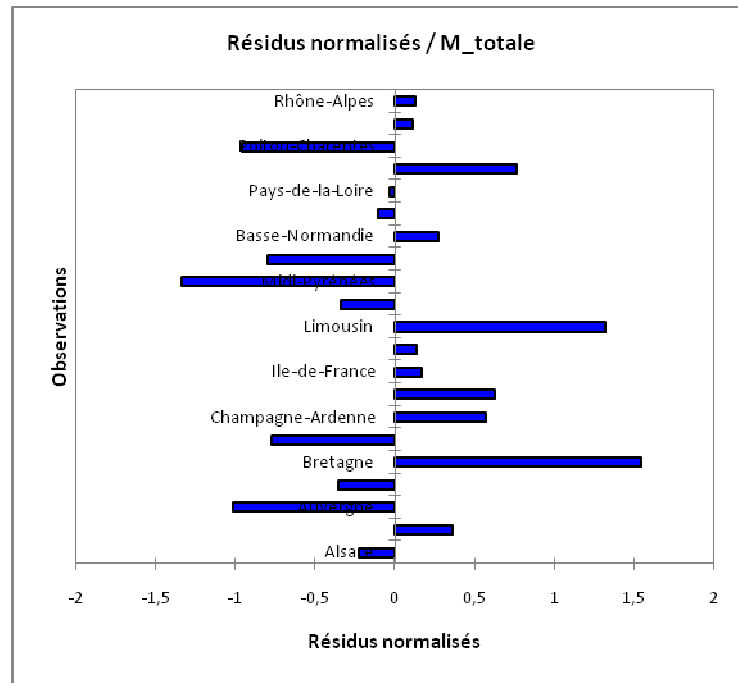
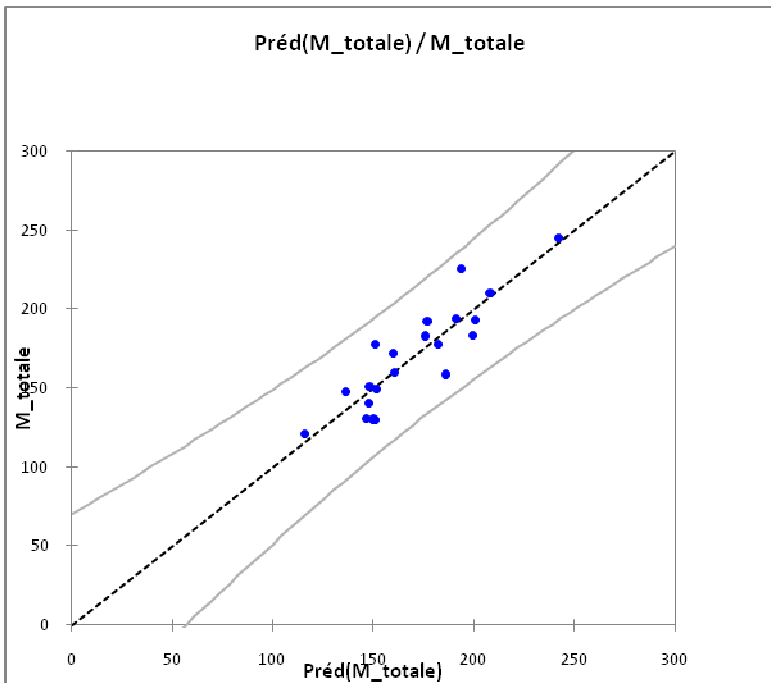
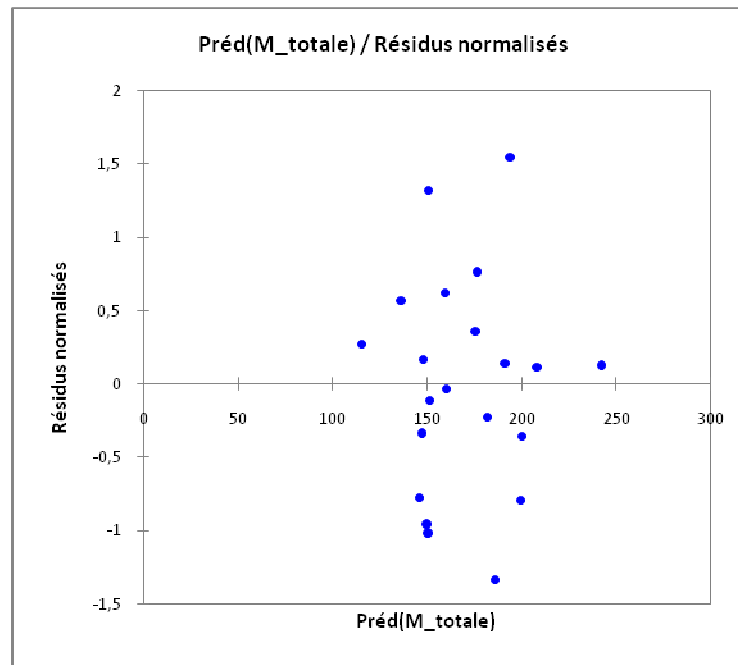
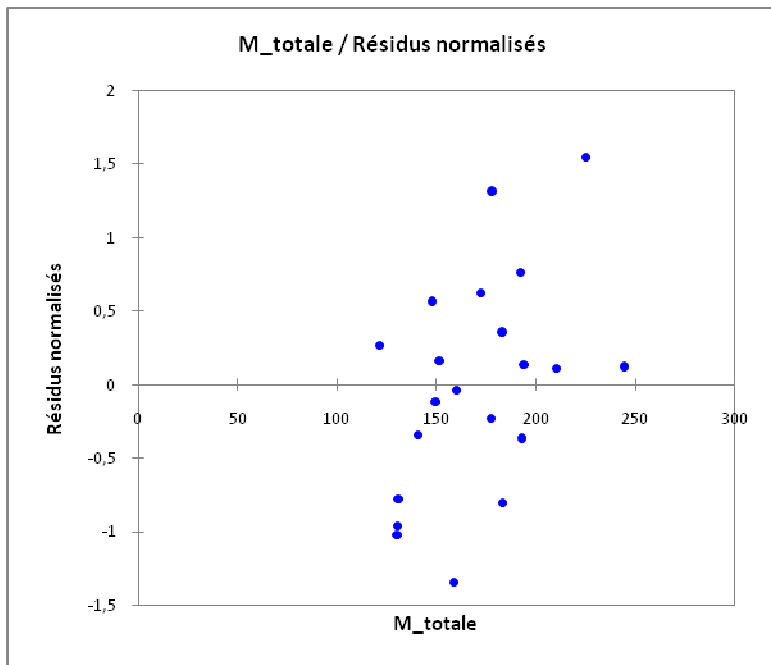


TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS | 4 |
| SOMMAIRE | 5 |
| LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS | 6 |
| INTRODUCTION GENERALE | 7 |
| 1^{ERE} PARTIE | 14 |
| INTRODUCTION | 15 |
| I - DE L'ANTIQUITE A NOS JOURS : QUELLE PLACE POUR LA GEOGRAPHIE DANS LES ETUDES DE SANTE ?.. | 19 |
| <i>1 - Aux origines de la géographie médicale</i> | 19 |
| 1-1 Hippocrate : le fondateur de « l'art médical » | 19 |
| 1-2 Les enseignements hippocratiques | 20 |
| 1-2-1 L'action du chaud et du froid, du sec et de l'humide et des « changements extérieurs »..... | 20 |
| 1-2-2 La santé : un produit entre « tempérament » et événements climatiques et saisonniers | 22 |
| 1-3 De l'influence des saisons, des vents et de l'exposition | 22 |
| 1-4 L'apport d'Hippocrate..... | 23 |
| <i>2 - Le Moyen-Age : le temps des compilations</i> | 24 |
| 2-1 Des pratiques médicales distinctes | 24 |
| 2-1-1 La médecine raisonnée : garante d'une tradition hippocratique | 24 |
| 2-1-2 La médecine culturelle pratiquée par le clergé | 25 |
| 2-1-3 Reboiteux et ermites, praticiens de la médecine profane | 26 |
| 2-2 Les facteurs de maladie au Moyen-Age..... | 26 |
| 2-3 Le temps des grandes épidémies..... | 27 |
| 2-4 Les premières facultés de médecine et les premiers hospices..... | 28 |
| <i>3 - Le tournant de la Renaissance</i> | 30 |
| 3-1 D'importants progrès en médecine qui réfutent Galien | 30 |
| 3-2 « La diversité des lieux peut entraîner un certain relativisme des mœurs » | 31 |

| | |
|---|----|
| 4 – Les XVII^e et XVIII^e siècles amplifient les changements opérés lors de la Renaissance | 32 |
| 4-1 L'impact de l'héritage hippocratique..... | 32 |
| 4-1-1 <i>L'esprit des Lois</i> de Montesquieu..... | 33 |
| 4-1-2 <i>Le Dictionnaire Philosophique</i> de Voltaire..... | 34 |
| 4-2 Le poids des sociétés savantes | 34 |
| 4-2-1 L'académie des sciences et l'Observatoire royal..... | 35 |
| 4-2-2 La Société Royale d'Agriculture | 37 |
| 4-2-3 L'apport majeur de la Société de Médecine | 38 |
| 4-3 La topographie médicale : une approche purement géographique des problèmes de santé | 39 |
| 4-3-1 Une réflexion géographique concomitante..... | 40 |
| 4-3-2 L'inégale répartition des TM en France | 41 |
| 4-3-3 Une étude des lieux et des hommes | 43 |
| 4-3-4 Des données collectées hétéroclites..... | 44 |
| | |
| 5 – De l'intérêt des médecins à celui des géographes | 47 |
| 5-1 La révolution bactériologique..... | 47 |
| 5-1-1 Le principe de spécificité et l'origine microbienne des maladies | 47 |
| 5-1-2 Le principe d'atténuation et les premiers vaccins | 48 |
| 5-2 La géographie humaine comme écologie de l'homme | 50 |
| 5-2-1 Influence climatique sur les fonctions organiques..... | 50 |
| 5-2-2 Les complexes pathogènes | 52 |
| 5-3 La géographie médicale devient géographie de la santé..... | 55 |
| 5-3-1 De la nécessité d'introduire des variables géographiques dans l'étude des phénomènes de santé..... | 55 |
| 5-3-2 Quelles nouvelles approches ?..... | 56 |
| 5-3-3 Epidémiologie et géographie : antagonisme et complémentarité..... | 58 |
| | |
| 6 – Les relations climat – santé | 61 |
| 6-1 Un « bon climat » pour être en « bonne santé » : la climatothérapie | 61 |
| 6-2 Météoropathologie et risque « climatopathologique »..... | 63 |
| 6-3 Quand le climat change les maladies migrent..... | 65 |
| | |
| CONCLUSION PARTIELLE | 67 |
| | |
| II – LE RISQUE GRIPPAL, UN OBJET GEOGRAPHIQUE | 69 |
| | |
| 1- Le risque, un phénomène tant spatial que temporel | 69 |
| 1-1 Risque et catastrophe : deux concepts étroitement liés..... | 71 |
| 1-2 Deux visions du risque : sciences « dures » contre sciences « molles » | 73 |
| | |
| 2 – Evaluer le risque | 76 |
| 2-1 En calculant l'aléa | 77 |
| 2-2 En analysant la vulnérabilité et les enjeux..... | 79 |
| | |
| 3 - Qu'est ce qu'un risque sanitaire ? | 81 |
| 3-1 Comportements humains et modes de vie : les facteurs prépondérants du risque sanitaire | 81 |
| 3-2 Le rôle du milieu naturel | 85 |

| | |
|---|------------|
| 4 - <i>Et l'épidémie dans tout cela ?</i> | 87 |
| 4-1 Le principe de l'épidémie : la contagion..... | 87 |
| 4-2 Observer et étudier les épidémies | 89 |
| | |
| CONCLUSION PARTIELLE..... | 91 |
| | |
| III – LA GRIPPE : UNE MALADIE SOUS SURVEILLANCE. ÉVALUATION GEOGRAPHIQUE DU RESEAU SENTINELLES..... | 93 |
| | |
| 1 – <i>Vigilance du réseau Sentinelles</i> | 93 |
| 1-1 Le réseau Sentinelles | 93 |
| 1-2 Les épidémies se suivent mais ne se ressemblent pas..... | 101 |
| | |
| 2 – <i>Un réseau qualitativement satisfaisant</i> | 105 |
| 2-1 Analyse des effectifs, une baisse inquiétante..... | 105 |
| 2-2 Evolution de la répartition des médecins Sentinelles..... | 108 |
| | |
| 3- <i>Une représentativité spatiale correcte sur la majeure partie de la période d'activité mais des tendances actuelles inquiétantes.</i> | 114 |
| | |
| CONCLUSION PARTIELLE..... | 116 |
| | |
| CONCLUSION DE PARTIE..... | 117 |
| | |
| 2^{EME} PARTIE..... | 119 |
| | |
| INTRODUCTION | 120 |
| | |
| I - LIER LE CLIMAT A LA GRIPPE..... | 122 |
| | |
| 1 - <i>Chercher un « temps à grippe »</i> | 122 |
| 1-1 Un hiver ? Des hivers !..... | 122 |
| 1-2 La méthode des « types de temps » | 123 |
| 1-3 ONA - Grippe : un lien suspecté entre l'activité du virus en France et le temps qu'il fait..... | 125 |
| | |
| 2- <i>Redéfinir le déclenchement épidémique</i> | 127 |
| 2-1 Pourquoi changer de définition ?..... | 127 |
| 2-2 L'accélération de la courbe d'incidence comme critère de départ épidémique..... | 130 |
| 2-3 Répartition temporelle du déclenchement épidémique | 136 |

| | |
|--|------------|
| 3 - Analyse de l'évolution climatique « paramètre par paramètre » en période pré-épidémique | 138 |
| 3-1 La température : une baisse systématique en période pré-épidémique | 138 |
| 3-2 Le flux d'altitude : l'alternance suspectée | 145 |
| 3-3 Nébulosité et précipitations | 149 |
| 3-4 Le déclenchement épidémique de la saison 1999-2000 | 152 |
| 3-4-1 Le contexte épidémiologique..... | 152 |
| 3-4-2 Le contexte climatique | 155 |
| | |
| 4 - Intégrer tous les paramètres dans une classification pour mettre en avant des situations types..... | 165 |
| | |
| 5 - Quels résultats pour la saison froide 2004-2005 en Tunisie ?..... | 172 |
| 5-1 Collecte des données tunisiennes..... | 172 |
| 5-2 Existe-t-il un lien entre baisse de température et augmentation de l'activité épidémique ?..... | 175 |
| 5-3 Evolution spatio-temporelle de l'épidémie de grippe en Tunisie (2004-2005)..... | 179 |
| | |
| CONCLUSION PARTIELLE..... | 184 |
| | |
| II - DEFINIR LE RISQUE GRIPPAL | 186 |
| | |
| 1- Le climat, facteur d'aléa et de vulnérabilité | 186 |
| 1-1 Le climat, facteur d'aléa et de vulnérabilité..... | 187 |
| 1-1-1 Quelles conditions optimales de transmission du virus grippal ? | 188 |
| 1-1-2 Des individus affaiblis en saison froide..... | 192 |
| 1-1-2-1 Le rôle de la lumière..... | 193 |
| 1-1-2-2 L'influence du froid sur le système immunitaire..... | 195 |
| | |
| 2 - Un territoire inégalement confronté à des situations atmosphériques génératrices de baisses de température..... | 199 |
| 2-1 Quelles sont les caractéristiques de la saison froide en France ? | 199 |
| 2-2 Les advections d'air froid ou vagues de froid en France métropolitaine | 202 |
| 2-3 Le découpage climatique de la France selon Météo-France | 204 |
| | |
| CONCLUSION PARTIELLE..... | 214 |
| | |
| CONCLUSION DE PARTIE..... | 216 |
| | |
| 3^{EME} PARTIE..... | 218 |
| | |
| INTRODUCTION | 219 |
| | |
| I - LES VULNERABILITES LIEES AU RISQUE GRIPPAL | 222 |

| | |
|---|-----|
| 1 - L'inégale exposition au risque | 222 |
| 1-1 Des régions plus ou moins touchées | 222 |
| 1-2 Des épidémies qui se diffusent sur le territoire..... | 224 |
| 1- 3 Des régions touchées plus ou moins précocement..... | 228 |
| 1-4 Démographie et épidémiologie : des liens étroits | 230 |
| | |
| 2 - Une double vulnérabilité : celle des lieux et celle des individus qui les habitent | 233 |
| 2-1 Les enseignements du rapport Black | 233 |
| 2-2 Une vulnérabilités des lieux..... | 235 |
| 2-2-1 Des variables structurelles | 236 |
| 2-2-2 Des variables de migrations..... | 241 |
| 2 – 3 Une vulnérabilité des individus..... | 248 |
| 2 - 4 Synthétiser puis cartographier la vulnérabilité..... | 256 |
| 2 – 4 Doit-on tout conserver ?..... | 263 |
| | |
| CONCLUSION PARTIELLE | 264 |
| | |
| II - VERS UN MODELE EXPLICATIF DE L'INCIDENCE GRIPPALE | 265 |
| | |
| 1- Une analyse de covariance insatisfaisante | 265 |
| 1-1 Pourquoi une ANCOVA ?..... | 265 |
| 1-2 Quels résultats pour l'ANCOVA ? | 266 |
| 1-3 Comment améliorer le modèle ?..... | 270 |
| | |
| 2 - Réalisation d'une ANOVA | 270 |
| 2-1 En intégrant les résultats d'une ACP des facteurs de vulnérabilité liés aux individus..... | 271 |
| 2-2 Quels résultats pour l'ANOVA ?..... | 278 |
| | |
| 3 - Modèle et écarts au modèle | 281 |
| | |
| CONCLUSION PARTIELLE | 286 |
| | |
| CONCLUSION DE PARTIE | 287 |
| | |
| CONCLUSION GENERALE | 289 |
| | |
| TABLE DES FIGURES | 297 |
| | |
| Liste des tableaux | 302 |
| | |
| ANNEXES | 324 |

TABLE DES MATIERES 382

Référence :

Le risque grippal en France métropolitaine : étude géographique d'un risque sanitaire saisonnier.

The flu-like risk in metropolitan France, the geographical study of a seasonal sanitary risk.

LYSANIUK B. Thèse en Géographie, Université Paris I Panthéon Sorbonne - Laboratoire Espaces, Nature, Culture. UMR CNRS 8185

UFR de rattachement : UFR de Géographie. Institut de Géographie 191, rue Saint-Jacques, 75231 Paris cedex 05

Résumé : Les épidémies de grippe, dont le caractère saisonnier est désormais admis et prouvé, sont majoritairement étudiées par des équipes de recherche en santé publique. La composante saisonnière de ces épidémies sous-tend l'influence de paramètres climatiques, préalablement isolés par la méthode dite des types de temps. Une analyse fine des conditions climato-météorologiques des vingt dernières années a abouti à la mise en lumière de « types de temps à grippe ». Si le climat joue un rôle important, d'autres facteurs liés à la promiscuité ou les réseaux de transports expliqueraient certainement les disparités régionales observées en termes d'incidence grippale. Après avoir exposé des facteurs jouant potentiellement un rôle dans l'augmentation de la vulnérabilité, nous les avons synthétisés sous la forme d'un indice qui fut cartographié. Dans un second temps, nous avons intégré certains de ces facteurs dans le cadre d'un modèle afin de prédire le taux d'incidence grippale : cet essai de modélisation semble concluant. Finalement, en croisant la carte d'exposition aux types de temps à risque avec celle de la vulnérabilité globale, il devient possible de cartographier le risque grippal en France métropolitaine. La conception géographique du risque devient dès lors complémentaire de celle employée en épidémiologie.

Mots clés : Risque sanitaire, Grippe, Climatologie appliquée, Géographie de la santé, France.

Abstract : The seasonal characteristics of the epidemics of influenza are admitted and proved. They are mainly studied by laboratories of public health. The seasonal constituent of these epidemics underlies the influence of climatic parameters, beforehand isolated by the climatological method called "types of weather". A precise analysis of the climato-meteorological conditions of the last twenty years concluded to highlight specific "types of weather" observed before the epidemics releases. If the climate plays an important role, other factors like promiscuity or transport networks would explain certainly the regional disparities observed in terms of flu-like incidence. After a discussion about the factors playing potentially a role in the increase of the vulnerability, we ended in a mapping of this vulnerability. Secondly, we integrated some of these factors within the framework of a model to predict the rate of flu-like incidence: this try of modeling seems encouraging. Finally, by crossing the map of exposure at "risky types of weather" with that of the global vulnerability, it becomes possible to map the flu-like risk in metropolitan France. The geographical conception of the risk becomes from then additional of that used in epidemiology.

Key words : Sanitary risk, Influenza, Applied Climatology, Geography of health, France.