

JULIEN PASTOR

# **CONCEPTION D'UNE LÉGENDE INTERACTIVE ET FORABLE POUR LE SOLAP**

Mémoire présenté  
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval  
dans le cadre du programme de maîtrise en sciences géomatiques  
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.)

FACULTÉ DE FORESTERIE ET DE GÉOMATIQUE  
UNIVERSITÉ LAVAL  
QUÉBEC

SEPTEMBRE 2004

© Julien Pastor, 2004

## Résumé

Afin de palier au manque d'efficacité des SIG en tant qu'outil d'aide à la décision (granularités multiples, rapidité, convivialité, temporalité), différents saveurs d'outils SOLAP (Spatial OLAP) ont vu le jour dans les centres de recherche et fournisseurs de logiciels (CRG/Kheops/Syntell, SFU/DBMiner, *Proclarity*, Cognos, Microsoft, Beyond 20/20, ESRI, MapInfo, etc.). Combinant des fonctions SIG avec l'informatique décisionnelle (entrepôts de données, OLAP, data mining), le SOLAP est décrit comme un "logiciel de navigation rapide et facile dans les bases de données spatiales qui offre plusieurs niveaux de granularité d'information, plusieurs époques, plusieurs thèmes et plusieurs modes de visualisation synchronisés ou non: cartes, tableaux et graphiques statistiques (Bédard 2004). Le SOLAP facilite l'exploration volontaire des données spatiales pour aider l'utilisateur à détecter les corrélations d'informations, les regroupements potentiels, les tendances dissimulées dans un amas de données à référence spatiale, etc. Le tout se fait par simple sélection/click de souris (pas de langage SQL) et des opérations simples comme : le forage, le remontage ou le forage latéral. Il permet à l'utilisateur de se focaliser sur les résultats des opérations au lieu de l'analyse du processus de navigation.

Le SOLAP étant amené à prendre de l'essor au niveau des fonctions qu'il propose, il devient important de proposer des améliorations à son interface à l'usager de manière à conserver sa facilité d'utilisation. Le développement d'une légende interactive et forable fut la première solution en ce genre proposée par Bédard (Bédard 1997). Nous avons donc retenu cette piste pour la présente recherche, étudié la sémiologie graphique et son applicabilité à l'analyse multidimensionnelle, analysé ce qui existait dans des domaines connexes, exploré différentes alternatives permettant de résoudre le problème causé par l'enrichissement des fonctions de navigation, construit un prototype, recueilli des commentaires d'utilisateurs SOLAP et proposé une solution. Tout au long de cette recherche, nous avons été confrontés à une absence de littérature portant explicitement sur le sujet (les SOLAP étant trop nouveaux), à des corpus théoriques qu'il fallait adapter (sémiologie, interface homme-machine, visualisation scientifique, cartographie dynamique) et à des besoins en maquettes et prototypes pour illustrer les solutions

envisagées. Finalement, cette recherche propose une solution parmi plusieurs; cependant, son principal intérêt est davantage l'ensemble des réflexions et considérations mises de l'avant tout au long du mémoire pour arriver au résultat proposé que la solution proposée en elle-même. Ce sont ces réflexions théoriques et pratiques qui permettront d'améliorer l'interface à l'utilisateur de tout outil SOLAP grâce au nouveau concept de légende interactive et forable.

Julien Pastor  
Étudiant

Yvan Bédard  
Directeur de recherche

Marie-Christine Roy  
Co-directrice de recherche

## Avant-propos

Je tiens à remercier mon directeur de recherche Yvan Bédard pour son avis toujours éclairé et pour avoir su me guider et me motiver tout au long de cette maîtrise.

Merci à Marie-Christine Roy, ma co-directrice qui a su m'apporter une opinion externe au monde de la géomatique et ainsi permettre l'enrichissement de ma recherche et de mon mémoire.

Merci également à mon responsable de stage: Les conseillers KHEOPS et plus particulièrement à Jacques Charron pour m'avoir accordé quelques jours de congé quand le temps vint à manquer!

Merci au Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et au Ministère des transports du Québec (MTQ) pour m'avoir supporté financièrement.

Merci à Stéphane Roche pour avoir bien voulu corriger mon mémoire.

Merci à toute l'équipe du CRG : Sonia Rivest, Martin Nadeau et les autres pour m'avoir fourni tout le support que je désirais et cela malgré la distance qui nous séparaient (Montréal-Québec)

## TABLES DES MATIÈRES

<b>CHAPITRE I. PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>11</b>
1.1 PROBLÉMATIQUE .....	11
1.1.1 <i>Contexte général</i> .....	11
1.1.2 <i>Description de la problématique</i> .....	13
1.2 BUT ET OBJECTIFS .....	15
1.2.1 <i>Objectif principal</i> .....	15
1.2.2 <i>Objectifs spécifiques</i> .....	15
1.3 MÉTHODOLOGIE .....	15
1.3.1 <i>Recherche d'avenue de solutions pour la légende interactive</i> .....	15
1.3.2 <i>Enchaînement de la recherche</i> .....	16
1.4 CADRE THÉORIQUE ET BASES SCIENTIFIQUES .....	18
1.4.1 <i>Quelques définitions</i> .....	18
1.4.1.1 <i>Définition du mot légende</i> .....	18
1.4.1.2 <i>Définition d'interactivité</i> .....	19
1.4.1.3 <i>Définition d'une légende interactive et forable</i> .....	19
1.4.2 <i>L'aspect cognitif de la légende</i> .....	20
1.4.3 <i>L'aspect temporel de la légende</i> .....	24
1.4.4 <i>L'aspect spatiale de la légende</i> .....	33
A. <i>Contexte</i> .....	33
B. <i>Les éléments à traiter dans la légende</i> .....	34
1.4.5 <i>L'aspect thématique de la légende</i> .....	37
<b>CHAPITRE II. LES DIFFÉRENTS VOLETS DE LA LÉGENDE .....</b>	<b>39</b>
2.1 VOLET TEMPOREL .....	40
2.1.1 <i>Comment représenter le temps d'une manière linéaire dans la légende ?</i> .....	40
2.1.2 <i>Comment représenter les cycles récurrents du temps au sein de la légende ?</i> .....	45
2.1.3 <i>Comment organiser le temps d'une manière connue dans la légende ?</i> .....	50
2.1.4 <i>Comment animer la carte à partir de la légende temporelle ?</i> .....	51
2.2 VOLET SPATIAL .....	54
2.2.1 <i>Comment adopter un mode de visualisation de la légende spatiale déjà connue de l'utilisateur ?</i> .....	54
2.2.2 <i>Comment incorporer la légende spatiale dans l'arbre de navigation ?</i> .....	56
2.3 VOLET THÉMATIQUE .....	56

2.3.1 Comment visualiser la distribution d'une mesure de manière linéaire? .....	56
2.3.2 Visualiser plusieurs mesures en passant de l'une à l'autre à l'aide d'une légende linéaire .....	58
2.3.3 Comment adopter un mode de visualisation de la légende déjà connue de l'utilisateur ? .....	58
A. Visualiser une légende quand plusieurs mesures sont représentées sur la carte ? .....	60
B. Comment représenter une seule mesure mais sur différents membres d'une dimension? .....	61
C. Comment matérialiser le résultat d'un forage dans la légende ? .....	62
2.3.4 Comment inclure une partie de la légende thématique dans l'arbre de navigation du SOLAP? .....	64

## **CHAPITRE III. LA SOLUTION THÉORIQUE RETENUE ..... 67**

3.1 LES ÉLÉMENT RETENUS POUR LE CÔTÉ SPATIAL .....	67
3.1.1 Comment visualiser et contrôler explicitement les niveaux ? .....	68
3.1.2 Comment peut-on visualiser plusieurs niveaux sur une même vue cartographique ? ...	69
3.1.3 Comment connaître les membres qui sont inclus dans chaque niveau ? .....	72
3.1.4 Comment la légende doit-elle réagir quand on dispose de plusieurs dimensions spatiales alternatives ? .....	72
3.2 LES ÉLÉMENT RETENUS POUR LE CÔTÉ TEMPOREL .....	73
3.2.1 Comment permettre l'exploration temporelle au travers de la légende? .....	73
3.2.1.1 Le curseur temporel .....	73
3.2.1.2 La représentation par cycle .....	75
3.2.1.3 Le calendrier .....	76
3.2.1.4 Le lecteur multimédia .....	76
3.3 LES ÉLÉMENT RETENUS POUR LE CÔTÉ THÉMATIQUE .....	76
3.3.1 Comment représenter les mesures dans la légende thématique? .....	77
3.3.1.1 La glissière thématique ou comment circonscrire la zone cible d'étude .....	77
3.3.1.2 La légende thématique conventionnelle .....	78
3.4 CE QUI NE FAIT PAS PARTIE DE LA LÉGENDE, LES CONTRE-EXEMPLES ET LES BIAIS À ÉVITER .....	79
3.4.1 La glissière pour classer les années selon une mesure particulière .....	79
3.4.2 L'information sur l'entité à son survol .....	80
3.4.3 La loupe de forage .....	80
3.4.4 L'animation visuelle comme les clignotements .....	81
3.4.5 La manière de tirer profit du biais cognitif de confirmation .....	82
3.4.6 Pourquoi une légende ne peut-elle remplacer un outil de navigation comme un arbre ?	84
3.5 TABLEAU 3 DE SYNTHÈSE DES ÉLÉMENTS RETENUS .....	91

## **CHAPITRE IV. LE PROTOTYPE DÉVELOPPÉ ET LES TESTS EFFECTUÉS AVEC DES UTILISATEURS..... 92**

4.1 L'ENVIRONNEMENT TECHNOLOGIQUE .....	92
4.2 LES DONNÉES ICEM/SE DE L'HYPERCUBE .....	94
4.3 LE PROTOTYPE DÉVELOPPÉ.....	98
4.3.1 <i>Fonctionnalités développées</i> .....	99
4.3.1.1 L'application dans son ensemble .....	99
4.3.1.2 Au niveau spatial.....	101
4.3.1.3 Au niveau temporel .....	103
4.3.1.4 Au niveau thématique .....	107
4.3.2 <i>Fonctionnalités simulées</i> .....	113
4.3.2.1 Simulation dans la légende temporelle .....	114
4.3.2.2 Simulation dans la légende thématique .....	116
4.4 LES LIMITES DU PROTOTYPE .....	117
4.4.1 <i>Le dialogue SIG/Client est trop lent</i> .....	117
4.4.2 <i>Limites dans la navigation</i> .....	117
4.4.3 <i>Certaines fonctionnalités sont simulées</i> .....	117
4.4.4 <i>La légende devrait être adaptable à toutes les vues</i> .....	117
4.5 TEST AVEC LES UTILISATEURS .....	118
4.5.1 <i>Les points soulevés au niveau du fonctionnement</i> .....	118
4.5.1.1 Le curseur thématique .....	118
4.5.1.2 La glissière temporelle .....	119
4.5.1.3 L'arbre de navigation.....	120
4.5.1.4 Le calendrier .....	120
4.5.1.5 La légende thématique conventionnelle.....	121
4.5.2 <i>Les points soulevés au niveau du GUI</i> .....	122
4.5.2.1 La légende thématique conventionnelle.....	122
4.5.2.2 Charte graphique de la thématique .....	122
4.6 LA SYNCHRONISATION.....	124
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>126</b>
<b>ANNEXE A.....</b>	<b>138</b>
<b>ANNEXE B.....</b>	<b>141</b>

## Listes des figures

Figure 1 Organigramme méthodologique du processus de recherche.....	17
Figure 2 Extrait de la fig. 5.3 de la thèse de Sébastien Caquard .....	23
Figure 3 Graphiques illustrant les relations d'Allen .....	25
Figure 4 Capture d'écran de la "time-line" du logiciel <i>Proclarity</i> .....	26
Figure 5 Capture d'écran de la "time-line" du visualizer de Cognos.....	27
Figure 6 Exemple de dédoublement de curseur temporel d'année à mois lors d'un forage.....	28
Figure 7 Visualisation spatiale du temps pour une mesure donnée .....	30
Figure 8 Légende comportant un contenu d'analyse .....	32
Figure 9 Nombre d'accidents sur le réseau routier.....	33
Figure 10 Les forages combinés .....	36
Figure 11 Opération de forage spatial .....	37
Figure 12 Dimension alternative.....	37
Figure 13 Curseur temporel ou "time-line" .....	40
Figure 14 Action de forage sur la "time-line" version 1 .....	41
Figure 15 Action de forage sur la "time-line" version 2.....	41
Figure 16 Action de forage sur la "time-line" version 3 déclinée sous trois formes distinctes .....	42
Figure 17 Forage sur la "time-line" de manière globale .....	42
Figure 18 Panorama d'une année mois par mois.....	43
Figure 19 « time-line » pour une période .....	44
Figure 20 « time-line » pour plusieurs années consécutives.....	44
Figure 21 Légende temporelle cyclique .....	46
Figure 22 Architecture d'un cycle .....	48
Figure 23 Dédoublement du cycle.....	49
Figure 24 Exemple de cycle .....	49
Figure 25 La légende par calendrier .....	50
Figure 26 La légende temporelle par animation .....	52
Figure 27 Lecteur temporel du Visualizer de Cognos .....	52
Figure 29 Légende réseau routier adapté de l'atlas des midi-pyrenées .....	54
Figure 30 Le phénomène d'inhibition pour la légende d'une carte. ....	55
Figure 31 Arbre du OLAP pour la dimension spatiale .....	56
Figure 32 Légende thématique linéaire.....	57
Figure 33 Affichage discontinu dans une légende thématique linéaire .....	57
Figure 34 Navigation de mesure en mesure par glissière .....	58
Figure 35 Légende thématique interactive .....	59
Figure 36 Possibilités de légendes thématiques lors de l'illustration de plusieurs mesures .....	61
Figure 37 Possibilités de représentation de la légende thématique quand plusieurs membres sont sélectionnés .....	62
Figure 38 Résultat d'un forage sur la légende.....	63
Figure 40 Diagramme de Venne de la légende Interactive et forable du SOLAP .	66
Figure 41 Légende spatiale conventionnelle .....	68
Figure 43 Survol d'un niveau de la dimension spatiale .....	72
Figure 44 Choix des dimensions alternatives dans la légende .....	73
Figure 45 Classification des années selon une mesure .....	79



Figure 46 Forage sur un élément géométrique à l'aide d'une loupe .....	81
Figure 47 La "non-présence" des éléments -biais de confirmation- .....	83
Figure 48 Arbre de navigation à onglet de l'application client OLAP: Proclarity ....	85
Figure 49 Arbres de navigation du prototype ICEM/SE.....	86
Figure 50 Les dimensions représentées comme des couches SIG (illustration non fonctionnelle).....	87
Figure 51 Alternative au concept des onglets pour le choix des dimensions .....	89
Figure 52 Forage dans le cube des décès du cancer de ICEM/SE.....	95
Figure 53 Dimensions du cube représenté dans le prototype avec les données du projet ICEMSE .....	96
Figure 54 Schéma en étoile du cube décès cancer .....	98
Figure 55 Vue d'ensemble du prototype.....	100
Figure 56 Les différentes représentations des données possibles dans le prototype .....	101
Figure 57 Légende spatiale.....	102
Figure 58 ToolTip "intelligent" donnant les détails des membres du niveau .....	103
Figure 59 Le curseur temporel de la légende du SOLAP .....	104
Figure 60 Les différents types de sélection dans la glissière (période ou membres disjoints).....	104
Figure 61 Le drill sur un membre particulier pour le curseur temporel .....	105
Figure 62 Le calendrier vu comme une légende .....	106
Figure 63 Lanceur d'animation.....	107
Figure 64 Légende thématique .....	108
Figure 65 Cas où plusieurs mesures (Nombre de décès et rapport de taux standardisé) sont sélectionnées en colonne .....	109
Figure 66 Les différents indicateurs de la légende thématique .....	110
Figure 67 Forage sur une catégorie de la thématique.....	111
Figure 68 Raccourci pour les opérations SOLAP .....	111
Figure 69 Le curseur thématique .....	113
Figure 70 Ancre de visualisation .....	114
Figure 71 Forage global .....	114
Figure 72 Liste de lecture pour l'outils d'animation temporelle .....	115
Figure 73 Miniatures des mois d'une année.....	116
Figure 74 Icône de raccourci dans l'arbre de navigation .....	116
Figure 75 Sélection d'intervalle disjoint dans le curseur thématique .....	118
Figure 76 raffinement de la thématique pour un intervalle cible .....	119
Figure 77 Curseur thématique avec catégorie reflétant la valeur réelle .....	119
Figure 78 Une partie des PVL Spatiaux (Bédard 1999) .....	120
Figure 79 Dimension toutes années pour le calendrier .....	121
Figure 80 forage thématique (à dissocier de l'ouverture) .....	122
Figure 81 Vignette de comparaison .....	123
Figure 82 Principe de la peinture à numéro .....	123
Figure 83 Forage dans un intervalle de la légende thématique .....	124
Figure 84 La synchronisation au niveau de la légende .....	125

## Liste des tableaux

Tableau 1 population en fonction du centre commercial et de la date .....	29
Tableau 2 Variables visuelles en fonction des primitives spatiales .....	71
3.5 Tableau 3 de synthèse des éléments retenus.....	91

# Chapitre I. Problématique et méthodologie

## 1.1 Problématique

### 1.1.1 Contexte général

On stocke de plus en plus de données. On les organise et les classe dans des entrepôts de données. Afin de procéder à l'analyse et l'interrogation de ces données, un outil se détache du paysage : le OLAP (On-Line Analytical Processing). Il a été défini pour la première fois comme: "the name given to the dynamic enterprise analysis required to create, manipulate, animate and synthesize information from exegetical, contemplative and formulaic data analysis models. This includes the ability to discern new or unanticipated relationships between variables, the ability to identify the parameters necessary to handle large amounts of data, to create an unlimited number of dimensions, and to specify cross-dimensional conditions and expressions" (Codd *et al.*, 1993). Celui-ci permet l'exploration rapide et volontaire des données à travers les volets: temporel et spatial. Afin de tirer parti au maximum des données, il est essentiel de tenir compte de leur aspect spatio-temporel. Il a été constaté que près de 80% des données comprennent une composante spatiale (Franklin 1992). Hélas, le côté spatial et notamment cartographique du OLAP laisse à désirer. En ce qui concerne les outils GIS (Geographic Information System), ils proposent certes une analyse puissante des données spatiales mais comportent de sérieuses lacunes en ce qui concerne leur volet temporel. Afin de palier au manque d'efficacité des SIG en tant qu'outil d'aide à la décision (granularités multiples, rapidité, convivialité, temporalité), les applications SOLAP (Spatial OLAP) ont vu le jour dans les centres de recherche et fournisseurs de logiciels (CRG/Kheops/Syntell, SFU/DBMiner, *Proclarity*, Cognos, Microsoft, Beyond 20/20, ESRI, MapInfo, etc.). Le SOLAP qui combine les fonctions d'un SIG avec l'informatique décisionnelle (entrepôts de données, OLAP, data mining), est décrit comme «une plate-forme visuelle spécialement conçue pour supporter rapidement et facilement des analyses spatio-temporelles et l'exploration de données selon une approche multidimensionnelle basée sur des niveaux d'agrégation cartographique, graphique et tabulaire» (Bédard 1997) ou encore plus récemment comme un "logiciel de navigation rapide et facile dans les

bases de données spatiales qui offre plusieurs niveaux de granularité d'information, plusieurs époques, plusieurs thèmes et plusieurs modes de visualisation synchronisés ou non: cartes, tableaux et graphiques statistiques."(Bédard 2004). Le SOLAP facilite l'exploration volontaire des données spatiales pour aider l'utilisateur à détecter les corrélations d'informations, les regroupements potentiels, les tendances dissimulées dans un amas de données à référence spatiale, etc. Le tout se fait par simple sélection/click de souris (pas de langage SQL) et des opérations simples comme : le forage, le remontage ou le forage latéral. Il permet à l'utilisateur de se focaliser sur les résultats des opérations au lieu de l'analyse du processus de navigation.

Il existe déjà des systèmes commerciaux qui allient les fonctionnalités d'un OLAP avec celles d'un SIG mais leur capacité actuelle reste trop limitée. On peut par exemple voir que ces systèmes ne permettent la visualisation que d'une dimension spatiale géométrique à la fois, ce qui peut présenter des problèmes lors de l'analyse spatio-temporelle et de la corrélation spatiale (Rivest 2000). On possède déjà une bonne idée de ce que serait un outil SOLAP idéal, de bonnes avenues de solution sont décrites dans l'article « Toward better support for spatial decision making: defining the characteristics of spatial on-line analytical processing (SOLAP) » (Rivest, Bedard et al. 2001).

Dans les différents prototypes développés jusqu'à présent, chaque SOLAP possède des outils très intéressants mais il manque toujours un prototype réunissant tous ces éléments ensemble et raffinant la légende interactive comme le fait Bédard dans la maquette présentée en 1997 (Bédard 1997). Ainsi, il existe d'autres types de forage qui pourraient se révéler pertinents pour un SOLAP et pour lesquels une légende interactive et forable serait désirable. Cependant, une légende trop riche risquerait d'alourdir sérieusement l'interface à l'utilisateur et une étude approfondie sur son agencement devient alors nécessaire. On peut citer comme exemple la navigation à l'aide d'un curseur temporel. Cet outil semble pertinent, et différentes variantes existent dans les OLAP du marché comme par exemple dans le client *Proclarity (Proclarity Analytics Platform 5.0)*, mais il n'a pas encore été ajusté à l'utilisation dans un SOLAP où la navigation cartographique prend une place d'importance de premier ordre. La légende des SOLAP déjà développée ne semble pas totalement ergonomique ni être utilisée à son plein

potentiel. Certes le SOLAP est un outil beaucoup plus facile d'accès, plus performant et beaucoup plus instinctif que les GIS ou que les serveurs universels (avec module spatial) déjà présents sur le marché. Mais si on désire inclure tous les modes de forage et de navigations possibles, l'exploration des données peut devenir complexe. Il s'agit donc de développer des outils qui faciliteront l'exploration spatio-temporelle des données.

### **1.1.2 Description de la problématique**

Les données du SOLAP sont stockées dans un hypercube. Elles sont organisées d'une manière multidimensionnelle. Plusieurs concepts sont à distinguer : les mesures et les dimensions.

Les dimensions (temps, âge...) représentent les axes sélectionnés pour l'analyse alors que les mesures sont la représentation numérique des attributs selon certains critères sélectionnés (les dimensions). Chaque dimension contient des membres qui sont organisés en niveaux hiérarchiques de différentes granularités<sup>1</sup>. Prenons l'exemple de la dimension temps : elle comprend les niveaux: jours qui s'agrège en mois et qui lui même s'agrège en années. 1999 et 2000 sont des exemples de membres appartenant à la dimension du temps pour le niveau des années. Ainsi sur chaque dimension, on peut choisir de descendre dans la structure de l'arborescence (forer du niveau années au niveau mois par exemple) ou bien remonter dans la structure (« drill-up » de jours à mois par exemple). Cette manière d'organiser les données permet une réponse rapide à toutes interrogations croisées des données. L'utilisateur peut naviguer sur plusieurs supports : tabulaire, arborescent, graphique ou encore cartographique. Il représente ainsi les données de la manière la plus adéquate à sa compréhension du phénomène observé.

L'impression qui se dégage est que nous disposons à l'heure actuelle d'un outil très puissant et très accessible. Le SOLAP est amené dans les prochaines années à prendre de l'essor tant au niveau des fonctions qu'il propose pour le forage qu'au niveau du cercle de personnes auquel il s'adresse. Il devient important de proposer plus d'outils à l'utilisateur pour lui permettre d'aller plus loin dans sa démarche

exploratrice. Partant de ce constat, une question se pose : **comment accroître les fonctionnalités du SOLAP tout en gardant sa facilité d'utilisation?** Il est nécessaire de faire des améliorations au niveau de l'interface à l'utilisateur. Une manière de remplir ce mandat est de proposer une légende interactive ergonomique et adaptée aux besoins spécifiques du SOLAP (Bédard 1997). Celle-ci pourrait même suffire à analyser et naviguer dans les différents aspects du SOLAP : la carte, les tableaux et les graphiques.

Si l'on décide d'adopter une telle légende afin d'améliorer l'interface à l'utilisateur, il vient une multitude de questions que l'on doit se poser: comment lui donner de l'interactivité pour permettre la navigation? Doit-on permettre de forer dans l'espace et la thématique en même temps? Propose-t-on le même mode d'interaction pour la légende spatiale et pour la thématique? Doit-on inclure le temps dans la légende et si oui de quelle manière? Existe-il une représentation unique de la légende ou est-ce pertinent de proposer plusieurs légendes séparées adaptées à chaque volet de l'analyse? Doit-on forer d'une manière globale, locale ou bien doit-on proposer à l'utilisateur de choisir l'option adaptée à son type d'analyse? La légende peut-elle remplacer l'arbre de navigation? ...

Il n'existe cependant aucune étude sur ce sujet, la recherche est essentiellement basée sur l'innovation et fait donc fortement appel à l'imagination et à la connaissance actuelle des SOLAP par le présent auteur et l'équipe du CRG. Le recensement des écrits démontre qu'il n'existe aucun corpus théorique sur ce thème. Il sera néanmoins intéressant de s'inspirer de ce qui se fait dans les domaines connexes des interfaces homme-machine, de la visualisation scientifique, des SIG temporels, de la cartographie dynamique et des règles les plus récentes de sémiologie graphique afin de réaliser un rapprochement avec le SOLAP et les attentes de l'utilisateur.

---

<sup>1</sup> Degré de fragmentation d'une entité donnée (mémoire, disque, fichier, champ, etc.) en unités plus petites, dans un but de protection ou pour la gestion. [Office de la langue française, 1999]

## 1.2 But et Objectifs

### 1.2.1 Objectif principal

L'objectif principal de ce mémoire est d'identifier l'ensemble des considérations à prendre en compte pour développer une nouvelle légende interactive et forable.

### 1.2.2 Objectifs spécifiques

Compte tenu de l'objectif général, il sera nécessaire de :

1. Faire un inventaire des éléments interactifs dont disposent les domaines connexes (cartographie dynamiques, SIG temporels, sémiologie graphique, interface homme-machine...).
2. Identifier les plus pertinents pour le SOLAP et réalisables dans le contexte du présent mémoire
3. Créer une nouvelle légende proposant les fonctions SOLAP permettant de supporter la navigation interactive dans l'analyse spatio-temporelle d'un phénomène donné.

## 1.3 Méthodologie

### 1.3.1 Recherche d'avenue de solutions pour la légende interactive

C'est un travail important d'exploration et d'étude par analogie. Il s'agit de penser à des outils permettant un forage « intelligent » à partir d'exemples existants dans d'autres technologies ou encore par pure imagination parfois inductrice (« sorte d'inférence qui part de faits particuliers pour arriver à des explications plausibles de ces faits. » [OLF, 1996]<sup>2</sup>), parfois déductrice. La psychologie cognitive a une part à jouer dans cette recherche. Il s'agit d'essayer de comprendre la perception de l'utilisateur face à l'interface du SOLAP. La recherche devra s'orienter sur les moyens de naviguer à travers la légende pour forer ou remonter dans la structure. On explorera les différents types de forages suivants :

- Le forage spatial
- Le forage thématique
- Le forage temporel

Il y a un travail de recensement à effectuer sur l'ensemble des modes de navigations possibles dans un SOLAP. Il s'agira d'élaborer une maquette illustrant ces différents modes. On s'intéressera également aux types de forage combinant plusieurs primitives (thématique et spatial par exemple). En croisant les primitives on obtient de nouveaux moyens de forer dans le cube de données et ainsi on augmente la capacité d'analyse.

### **1.3.2 Enchaînement de la recherche**

La Figure 1 ci-dessous illustre l'enchaînement méthodologique de ma maîtrise en tenant compte des cycles inhérents à la recherche.

Dans un premier temps une analyse des domaines connexes à la recherche ainsi qu'un recensement des différentes manière de naviguer et plus précisément de forer dans le SOLAP a été faite. Puis, après avoir bâti un ensemble de concepts solides sur la forme que devrait prendre la légende interactive et forable du SOLAP dans une maquette et les éléments à exclure de celle-ci, le prototype a été construit afin d'illustrer les concepts réalisables compte tenu de l'état de l'art et du temps imparti pour une maîtrise. La maquette ainsi que le prototype ont été sujet à modifications au fil des discussions avec les différents groupes de travail (les experts SOLAP du C.R.G.).

---

<sup>2</sup> Office de la langue française



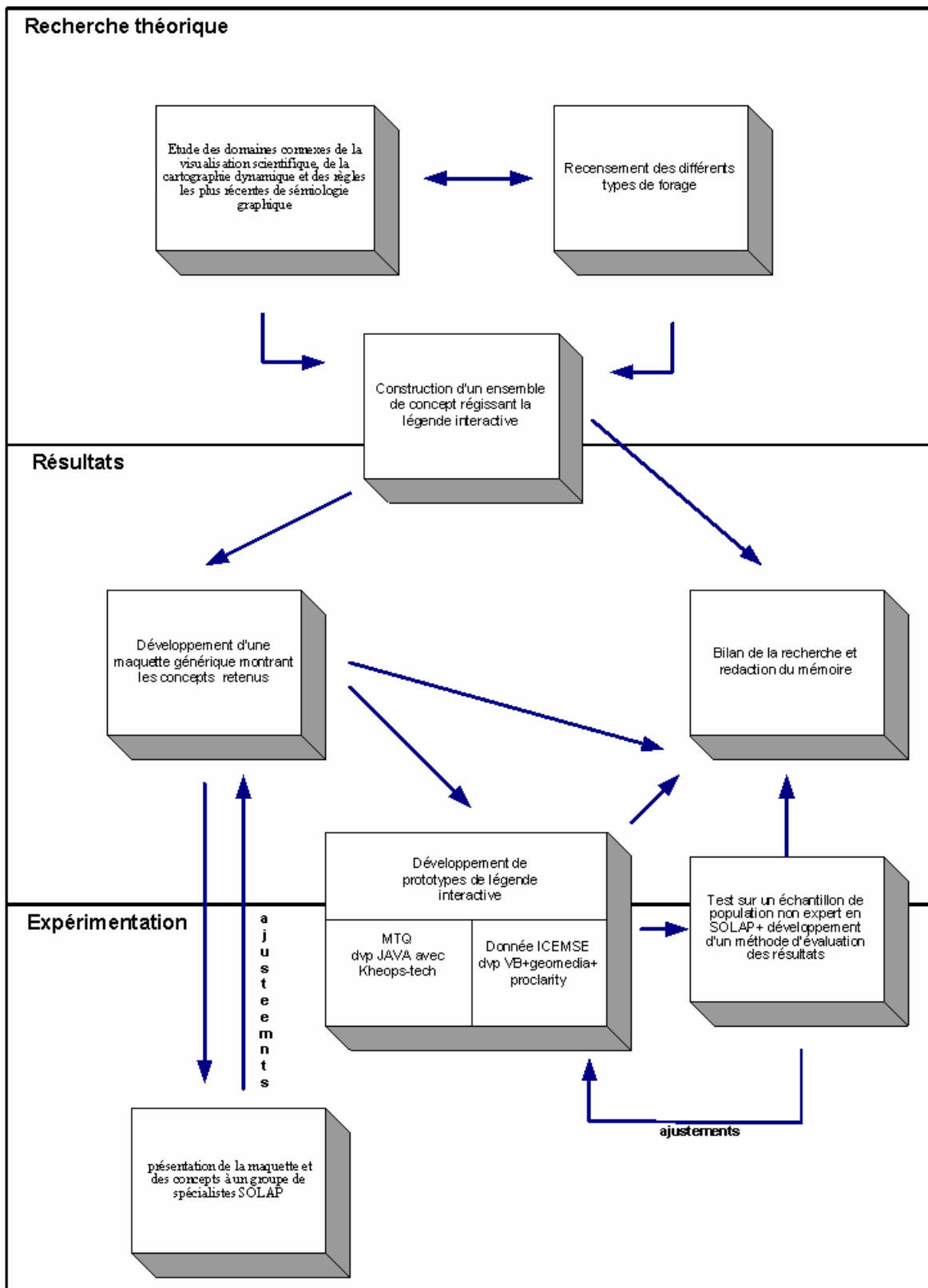


Figure 1 Organigramme méthodologique du processus de recherche

## **1.4 Cadre théorique et bases scientifiques**

Ce point va permettre d'asseoir les concepts théoriques et les bases nécessaires à cette recherche.

### **1.4.1 Quelques définitions**

Il convient dans un premier temps de définir avec précision et sans ambiguïté les termes "légende", "interactivité" et enfin "légende interactive et forable".

#### **1.4.1.1 Définition du mot légende**

D'après l'Office de la langue française une légende est une « liste explicative de certaines conventions admises dans la rédaction d'un dessin, d'une carte, et que l'on place ordinairement dans les marges ». C'est une définition standard datant de 1988 et qui s'applique à la cartographie sur papier. Dans le petit Larousse de 1997, la définition est la suivante: « explication jointe à une photographie, à un dessin, à un plan ou à une carte géographique ». Une autre définition provenant du grand dictionnaire terminologique de l'office québécois de la langue française et empruntée au domaine des mathématiques et des statistiques décrit la légende comme étant : « Dans un graphique, une liste explicative des motifs, couleurs ou symboles associés aux marques de données, qui indique le nom de la série de données correspondant à chaque marque de données »

Ainsi, on peut voir ici, que la légende est un terme qui désigne un objet statique permettant d'expliquer une carte ou un graphique. Il n'y a donc pas d'interactivité ou d'« intelligence » dans un tel composant. Il est évident que le domaine d'application de ces définitions a changé et qu'il convient de faire évoluer la définition de légende depuis la venue de l'aire de l'informatique. Celle-ci a décuplé les possibilités de représenter une carte et sa légende. Le multimédia est un bon exemple du degré d'interactivité qui existe entre un utilisateur et son ordinateur. L'utilisateur a pris l'habitude d'interagir avec son environnement informatique : il clique, double-clique de manière quasi instinctive. De même en est-il avec l'utilisation des hyperliens dans un navigateur web. Dans le monde du GIS, la légende possède une certaine part d'interactivité. Par exemple, dans l'aide technique de Geomedia 5.1 d'Intergraph, la légende est décrite comme : « The

interactive control center that determines what is displayed in the map window. Through the legend, you control which map objects are displayed in the map window and how they look » La légende d'une carte proposée sur support numérique doit donc répondre à ces nouvelles attentes en proposant un degré d'interactivité supérieur à celui d'une carte papier.

Mais avant d'aller plus loin dans cette réflexion, il convient de définir ce que l'on entend par interactivité.

#### **1.4.1.2 Définition d'interactivité**

« L'interactivité se dit de phénomènes qui réagissent les uns sur les autres ou encore d'un support de communication favorisant un échange avec le public (Émission, exposition, livre interactifs) » .

D'après l'encyclopédie Encarta 1997 : interactif se dit d'un « mode de traitement de données qui permet une conversation entre un système informatique et un utilisateur, avec échange de questions et de réponses » .

L'interactivité est encore, d'après la définition datant de 1997 de l'Office de la langue française, une « propriété d'un programme informatique qui permet à l'utilisateur d'interagir avec le système en modifiant le déroulement du contenu du programme, cette interactivité se matérialise à l'écran par des menus et des boutons qui commandent le parcours selon la volonté de l'utilisateur » .

Ces trois définitions donnent un aperçu assez juste de ce que l'on entend généralement par le terme interactivité. Celui-ci s'applique à tous les éléments d'une application informatique et fait partie intégrante du processus cognitif que l'utilisateur emploie. La légende étant désormais intégrée à des cartes numériques visualisées sur un ordinateur, elle doit donc pouvoir être interrogeable par l'utilisateur d'une manière interactive. Plus précisément, lors de l'utilisation de la carte dans une application client SOLAP, elle doit permettre la navigation habituelle comme le « drill-down », « drill-up » ou encore « drill-across ». On en vient donc à définir, pour les besoins de la cause, ce qu'est une légende interactive et forable.

#### **1.4.1.3 Définition d'une légende interactive et forable**

L'ordinateur a transformé l'ancienne légende de nos cartes papiers en un outil interactif. On peut désormais interagir avec la légende d'une carte numérique (jouer sur son affichage, choisir quels éléments on veut visualiser, définir son

apparence...). L'interactivité de la légende doit permettre d'accroître son pouvoir explicatif et analytique tout en restant simple et accessible. C'est dans ce contexte que s'inscrit le concept de légende interactive et forable.. En effet, la légende reste évidemment une liste explicative permettant de faire la lumière sur le contenu de la carte, mais on y ajoute des éléments interactifs qui permettent :

- De naviguer dans la légende
- D'animer la légende
- De choisir les éléments à visualiser

Ainsi, la légende cesse d'être un élément passif et devient un type de vue graphique propre à la sémantique. A ce titre, comme il existe une navigation SOLAP propre à chaque vue, il est naturel de pouvoir naviguer dans la légende de la même manière. On peut donc forer sur un élément de la légende (« drill-down »), effectuer des forages latéraux (« drill-across »), effectuer un pivot ou lancer une animation. La légende ne se contente plus d'expliquer la carte, elle permet de choisir les éléments que l'on souhaite afficher, leur granularité, leur enchaînement, leurs aspects...Elle permet de visualiser l'état de notre carte et également de le modifier. Il est important de préciser que dans le cadre de cette étude, la légende ne remplira pas les fonctions d'un SIG (elle ne permettra pas d'éditer les variables visuelles, choisir une thématique en fonction d'un attribut...) puisque ce ne sont pas là des fonctions SOLAP. Néanmoins, l'interactivité sera directement issue des fonctions de navigation comme le « drill-down », « drill-up » ou « drill-across ». Le SOLAP est une application comportant plusieurs moyens d'analyser les données : la carte, les graphiques et les tableaux. Ces trois types de visualisations permettent de présenter les données de différentes façons afin de faciliter l'analyse. La légende du SOLAP devrait donc être adaptée à chacune de ces manières de représenter les données.

#### **1.4.2 L'aspect cognitif de la légende**

Il est important de comprendre qu'une légende efficace devra posséder certains raccourcis cognitifs afin de faciliter la navigation SOLAP. En effet, deux parties de la mémoire de l'utilisateur sont mises en jeu :

-la mémoire de travail : c'est une mémoire de capacité limitée qui est utilisée pour le maintien temporaire et la manipulation des intrants lors d'une action de compréhension, de raisonnement ou bien d'apprentissage. Plusieurs théories existent sur son fonctionnement. Un modèle semble pourtant se détacher, c'est celui introduit par Baddeley qui dit qu'il existe une mémoire de travail divisée en trois structures : un système de gestion des ressources attentionnelles, l'administrateur central (1), et deux systèmes esclaves permettant le maintien d'informations verbales et non-verbales, la boucle phonologique (2) et le registre visuo-spatial (3).

-la mémoire court terme : Elle est limitée en taille et en durée, et est en étroite relation avec les capacités attentionnelles. Elle est définie par la faculté de garder en mémoire pendant un laps de temps très court qui varie de quelques secondes à quelques minutes, selon le type de matériel qu'elle contient une information, et de pouvoir la restituer pendant ce délai. Miller a établi en 1956 que la capacité de notre mémoire à court terme était limitée à une petite quantité d'éléments à la fois, soit environ  $7 \pm 2$  items . Toutefois, ce résultat a été revu à la baisse, car il est également dépendant des capacités attentionnelles des sujets

Il est donc nécessaire de coder les flux d'intrants afin de pouvoir stocker plus . Il existe deux manières d'effectuer ce codage de manière volontaire :

- Regrouper l'information par paquet, on appelle ce procédé "le chunking" ou la mémorisation par bloc. Ainsi pour stocker un numéro de téléphone il est plus facile de retenir 65-34-32 (3 bytes d'informations) que 6-5-3-4-3-2 (6 bytes d'information). C'est le même principe qui est utilisé lors de la création de légendes cartographiques thématiques, on regroupe les informations par tranches (7 tranches plus ou moins deux au maximum) de couleurs différentes. La nature même des SOLAP, de par leur fonction d'agrégation et de synthèse de l'information, favorise ce type de regroupement et s'inscrit donc naturellement dans un support à la mémoire à court terme. De même en est-il pour sa rapidité qui permet de solliciter la mémoire à court terme pour de très petits laps de temps (habituellement inférieurs à la bande cognitive de 10 secondes)

- Apporter une dimension sémantique aux intrants. C'est à dire donner du sens aux informations. Ainsi, on fait jouer le processus d'appareillage avec des éléments du passé ce qui facilite l'apprentissage. Ainsi, on va reprendre le fonctionnement des légendes du GIS pour permettre à l'utilisateur de prendre en main le SOLAP plus rapidement. Evidemment, il sera nécessaire de rajouter des fonctionnalités propres au SOLAP. Mais le fonctionnement de base sera connu de l'utilisateur qui a de forte change d'avoir déjà utiliser un Système d'informations Géographiques. Ici aussi, le SOLAP se prête bien à ce genre d'association. En effet, les hiérarchies utilisées pour les dimensions de la base de données passent souvent de l'information quantitative détaillée à une information qualitative par catégorie, cette dernière étant plus simple à appréhender par l'usager.

Il est également important de tenir compte du modèle mental de l'utilisateur. En effet, l'être humain développe un modèle mental qui lui permet de comprendre la manière d'interagir avec son environnement. Souvent des erreurs dans l'utilisation d'une interface sont attribuables à un biais dans ce modèle. Il est important de respecter certaines règles de design (comme la constance dans l'interface par exemple, on utilise le même type de police, de boutons, d'outils dans toute l'interface) afin ne pas perturber l'utilisateur

La part d'interactivité de la légende prend ses bases dans le corpus théorique de la cartographie dynamique. En effet, Dibiasse donne à la cartographie dynamique la définition suivante : « Les cartes dynamiques sont construites à l'intérieur de 2 ou 3 dimensions spatiales et de la dimension temporelle. Le temps est intrinsèque à la forme de la présentation dynamique des données. La cartographie offre au moins trois modes d'expression cartographique qui ne sont pas disponibles avec les représentations statiques :

- *l'animation*: l'illusion du mouvement crée à partir d'une séquence d'images immobiles
- *la sonorisation*: la représentation de données par le son
- *l'interaction*: la possibilité pour l'utilisateur de modifier une représentation »

La sonorisation ne sera pas abordée dans cette maîtrise mais par contre la légende que l'on désire développer devra tirer profit des éléments d'animation et

d'interaction de la cartographie dynamique afin de ne pas "réinventer la roue". puis définissent un ensemble de variables dynamiques dont il faut tenir compte. Ces variables sont décrites en détail dans la figure suivante :

<b>Variables de Dibiase (1992, p206)</b>	<b>Ajout des variables par MacEachren (1994)</b>
<p><i>Durée</i>: nombre d'unités de temps pendant laquelle une scène est représentée; une scène étant la représentation d'une situation à un moment donné, ce qui peut correspondre à une carte statique. La représentation d'un événement est composée d'une série de scènes ordonnées dans une animation</p> <p><i>Taux de changement</i>: proportion <math>m/d</math> où <math>m</math> est l'ampleur du changement en position et attribut de l'entité entre les scènes et <math>d</math> la durée de chaque scène. <math>m</math> varie à la fois avec les dynamiques du phénomène original et l'échantillonnage de l'intervalle utilisé pour générer des scènes individuelles antérieures à l'animation. Le taux de changement affecte à la fois la position géographique et/ou les attributs associés à l'objet.</p>	<p><i>Moment de représentation</i>: le moment à partir duquel des changements apparaissent dans la représentation. Le moment de représentation peut marquer l'apparition d'un nouveau phénomène dans le temps. Dans une représentation cyclique, le moment de représentation peut marquer le mois au cours duquel une crue arrive chaque année.</p> <p>Fréquence: le nombre d'états identifiables par unité de temps. La fréquence correspond à « la texture temporelle ».</p> <p>Synchronisation ou phase de correspondance: la correspondance temporelle d'au moins deux séries de temps. Un ensemble de points qui clignotent en phase semblent faire partie d'un même groupe alors que s'ils clignotent en quinconce, ils semblent différents.</p>

Figure 2 Extrait de la fig. 5.3 de la thèse de Sébastien Caquard

L'interactivité de la carte dynamique doit permettre à l'utilisateur de se frayer son propre chemin au sein des données, et non plus se contenter de suivre celui imposé par le constructeur. Or c'est justement le but du SOLAP: permettre à l'utilisateur d'analyser ses données suivant l'angle qu'il veut, sans être freiné par l'application. La cartographie dynamique est donc un atout à ne pas négliger pour la légende du SOLAP car elle inspirera son interactivité, c'est par son intermédiaire que l'utilisateur pourra interagir avec le logiciel pour créer l'analyse qui lui convient.

### 1.4.3 L'aspect temporel de la légende

On peut distinguer au niveau temporel les notions d'existence et d'évolution temporelle. L'existence est caractérisée par deux points d'ancrages dans le temps : la naissance et la mort des occurrences d'une classe d'objets. Dans une période donnée, l'utilisateur examinera la présence ou l'absence des objets dans la base de données. Pour fixer les idées, prenons l'exemple d'un bâtiment sur une carte : Celui-ci possède une existence caractérisée par sa date de construction et sa date de démolition ou destruction (ex. feu) (adapté du site [sirs.scg.ulaval.ca/perceptory](http://sirs.scg.ulaval.ca/perceptory))

L'évolution est un phénomène relié au changement d'état d'une classe d'objet. Celle-ci peut être spatiale ou descriptive. « L'évolution descriptive s'applique aux attributs de l'objet et survient à la suite des changements de valeur de ses attributs. Ex 2. La valeur de l'attribut "évaluation foncière" de la classe d'objet MAISON qui passe de 150 000\$ à 175 000\$. Alors que l'évolution spatiale s'applique lorsque l'on veut gérer les changements de position et de forme d'un objet qui est cartographié. Ex 3. Un bâtiment qui est agrandi pour ajouter une annexe, ce qui se traduit cartographiquement par un nouveau polygone plus grand. »

Le temps peut également être vu d'une manière continue ou discrète . Quand on désire le modéliser, la discrétisation est inévitable. Évidemment, on peut toujours utiliser une granularité si fine qu'elle crée l'illusion de la continuité mais il n'en reste pas moins que c'est l'enchaînement d'éléments discrets que l'on visualise. On peut choisir de visualiser les phénomènes temporels de deux manières :

- Par des ensembles d'époques (images cartographiques des mesures prises à un instant  $t$ )
- Par des ensembles d'intervalles :  $\Delta t$  (on mesure les variations entre les mesures prises à deux époques)

Ces éléments sont régis par des relations et des propriétés comme par exemple les relations d'Allen qui expriment une vision linéaire du temps. La figure ci-dessous illustre ces relations (avant, après, pendant...), elles représentent le pendant des relations topologiques (à droite, à gauche, au dessus, au dessous...) que l'on applique au côté spatial.



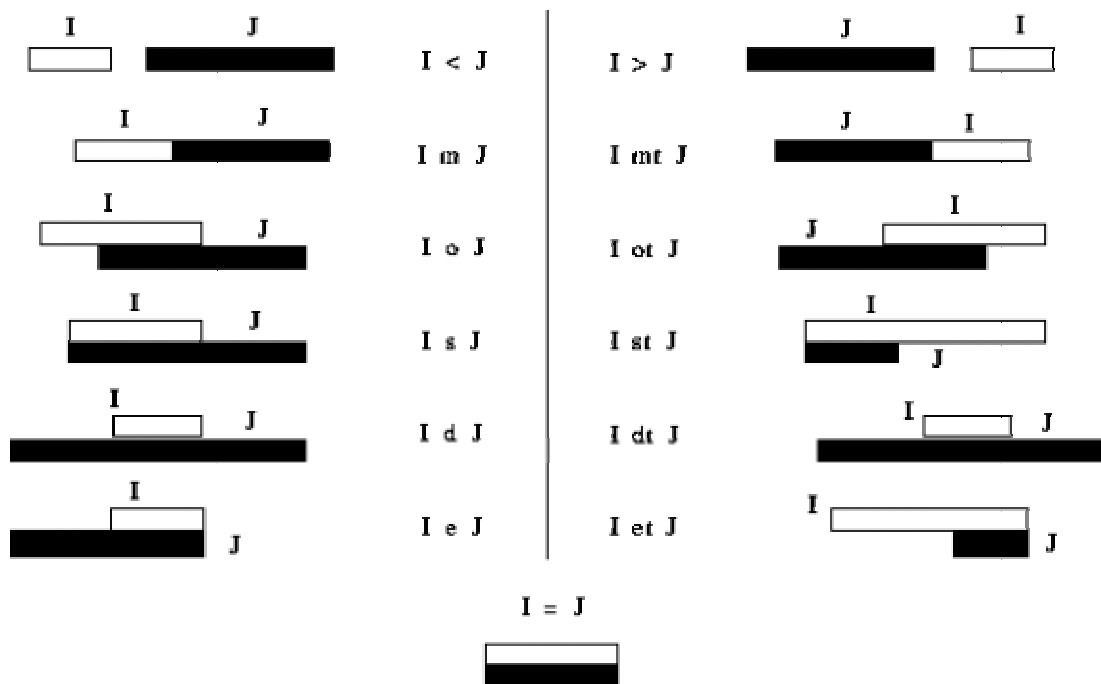


Figure 3 Graphiques illustrant les relations d'Allen

Mais la linéarité du temps n'est pas universelle. On utilise assez souvent quatre types de représentations du temps :

- La séquence linéaire (passé, présent, futur)
- Le cycle (représentation des rythmes récurrents avec périodicité régulières : cycles naturels, biologique, sociaux...)
- L'ensemble de trajectoires potentielles et parallèles avec des bifurcations activées par l'indépendance entre les composantes d'un système
- Le temps multidimensionnel pour distinguer le moment où un phénomène survient dans la réalité (temps réel) de ceux où il est observé ou mesuré (temps perçu), renseigné dans la base de données (temps de transaction), représentatif de la situation réelle (temps de validité) ou utilisé pour faire un traitement (temps d'usage)

On notera que ces représentations ne sont pas mutuellement exclusives (Ex : on peut représenter le temps multidimensionnel sur une séquence linéaire)

Les trois premières représentations sont des métaphores qui permettent à l'esprit humain de fonctionner par analogie et comparaison afin de raccrocher sa pensée sur un élément déjà connu.

Ces constats issus de la littérature vont permettre de bâtir le côté temporel de la légende à inclure dans le SOLAP (par exemple le curseur temporel mentionné

dans un paragraphe suivant utilisera la séquence linéaire pour se représenter et un outil prenant appui sur les cycles naturels sera abordé). Les outils temporels élaborés dans les prototypes passés ne permettaient pas une fluidité dans la navigation. Par exemple, le logiciel *Proclarity* (utilisé dans les prototypes comme ICEM/SE ou du projet pour le Service des orientations stratégiques du ministère des transports de Québec qui ont été développés au CRG de l'université Laval), possède déjà un curseur temporel mais celui-ci ne permet pas de voir s'animer la carte lors du déplacement de celui-ci (on déplace le curseur puis on lance une requête pour voir s'afficher le tableau).

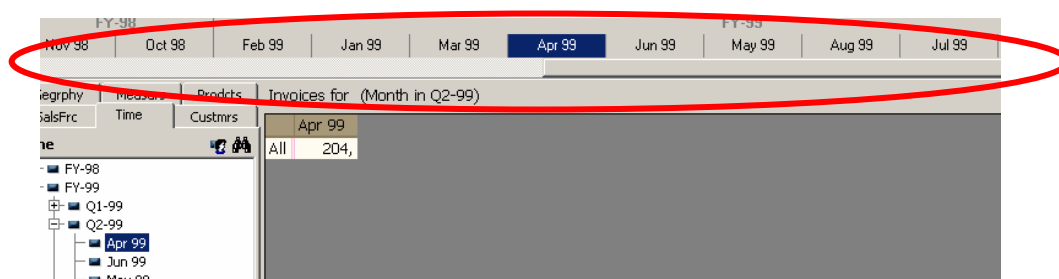


Figure 4 Capture d'écran de la "time-line" du logiciel *Proclarity*

Le module Visualizer du logiciel PowerPlay de Cognos permet cette interactivité mais la gestion cartographique n'est pas satisfaisante (l'affichage manque d'interactivité). De plus dans les deux logiciels précédents, lors d'un forage on perd le lien avec le niveau "père" (ex : si on fore dans le niveau année, c'est la même "time-line" qui change de granularité et affiche l'ensemble des mois de l'année sélectionnée) On perd donc le lien cognitif père-fils dans la hiérarchie.

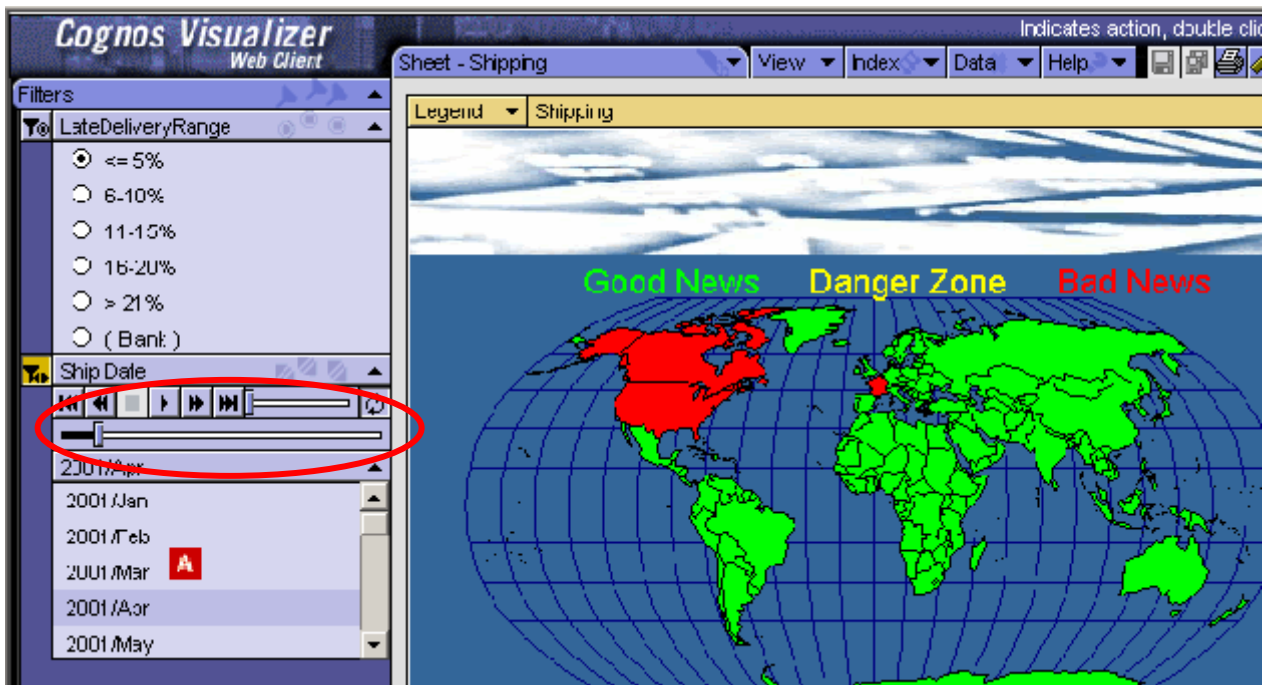


Figure 5 Capture d'écran de la "time-line" du visualizer de Cognos

C'est pourquoi, au cours de cette étude, il est apparu intéressant de proposer un dédoublement du curseur temporel, afin de permettre à l'utilisateur une plus grande flexibilité dans sa navigation. En plus d'avoir toujours en tête le membre père dans lequel il vient de forer, l'utilisateur peut également fixer un mois en particulier (ex : mars) et naviguer avec le curseur des années (ainsi, on voit s'enchaîner sur la carte les mois de février de chaque année comme le montre la figure suivante). Évidemment, il en résulte une occupation de l'écran plus grande ce qui peut devenir problématique lorsque l'utilisateur ouvre plusieurs fenêtres : deux cartes, un graphique et un tableau par exemple. Le prochain chapitre pèsera le pour et le contre de chaque alternative en fonction des besoins de l'utilisateur et proposera la solution retenue.

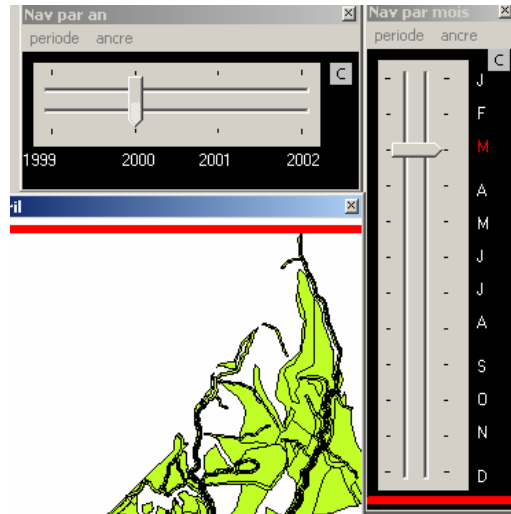


Figure 6 Exemple de dédoublement de curseur temporel d'année à mois lors d'un forage

Mais avant toute chose, il convient de répertorier les alternatives dont on dispose pour la représentation du temps dans la légende. Afin d'accroître l'utilisabilité de celle-ci, il est nécessaire de repenser son ergonomie. Dans ce but, on abordera successivement :

- Les éléments à visualiser
- Les moyens de représentation

## B. Les éléments à traiter dans la légende

En fonction de nos besoins, on peut vouloir visualiser plusieurs éléments différents :

1. Visualiser l'état d'un phénomène X à plusieurs dates (exemple : la propagation d'un feu de forêt). Ici, on visualise un état : c'est une vue d'un phénomène à un instant  $t$ . Cette visualisation est ensuite produite à différents instants  $t$ , comme une série de photographies statiques.

### 2. Visualiser un phénomène selon différents indicateurs

A. Visualiser l'évolution d'un phénomène : Ainsi, comme Peterson le dit : "what happens between each frame is more important than what exists on each frame" On ne s'intéresse plus au phénomène que l'on visualise mais à ses variations. Afin d'illustrer ce phénomène intéressons nous au tableau ci-dessous.

Centre commercial	10 décembre 1999	10 décembre 2000
Place X	15 000	25 000
Place Y	30 000	32 000

Tableau 1 population en fonction du centre commercial et de la date

Les données ci-dessus représentent l'état des deux centres d'achats en 1999 et en 2000. Ces informations peuvent se traduire sur une carte par un symbole ponctuel de grosseur proportionnelle à la population qui a fréquenté le lieu ce jour-là. On obtient donc un point plus gros pour la place Y que pour la place X. Par contre si l'on désire représenter la variation entre 1999 et 2000 alors la place X obtient un point plus gros que Y (une augmentation de 10 000 pour X et une augmentation de 2000 pour Y de l'année 1999 à 2000). Il est donc important de bien identifier les besoins de l'utilisateur pour lui proposer la mesure qui l'intéresse car dans le cas contraire, son modèle mental peut se biaiser et son analyse se révéler fausse. De plus, si un utilisateur est habitué à travailler avec les variations et qu'on lui propose des états, il sera nécessaire d'attirer son attention sur ce fait afin d'éviter qu'il ne traite les informations comme il en a l'habitude. C'est précisément le rôle que la légende doit jouer, elle doit être élaborée de manière à lever toute ambiguïté sur le type de mesure représentée.

B. Beaucoup d'autres indicateurs peuvent être visualisés. Si l'on prend l'exemple du membre année pour la dimension du temps; l'image de chaque année peut être représentée par:

- La somme des mesures de chaque mois
- La moyenne des mesures des mois
- L'écart type
- La mesure minimale ou maximale du mois
- La médiane

La mesure d'un mois en particulier (ex : on désire comparer tous les mois de janvier de chaque année)...

L'utilisateur doit avoir accès à toutes ces visualisations et cela de manière rapide. Une manière de changer le type de visualisation pourrait se situer au niveau de la légende à l'aide d'un bouton poussoir (on y reviendra dans le chapitre suivant)

3. Visualiser plusieurs phénomènes, à un instant t (visualiser les achats de jouets et le taux de fréquentation des places le 10 décembre 1998 par exemple). La légende devra donner les informations sur cette visualisation (la date, les phénomènes observés...)

4. Visualiser le temps d'une manière spatiale. Prenons un exemple pour préciser ce concept : sur une période de 1 an avec une granularité égale au jour, on désire visualiser les accidents sur une portion du territoire. Ainsi, l'utilisateur est capable de faire des requêtes dans le SOLAP du type : Afficher tous les accidents selon le jour de la semaine et la région. Le phénomène "accident" sera représenté de couleurs différentes suivant le jour de la semaine alors que la grosseur du point représentera la valeur de la mesure : c'est le côté SOLAP.

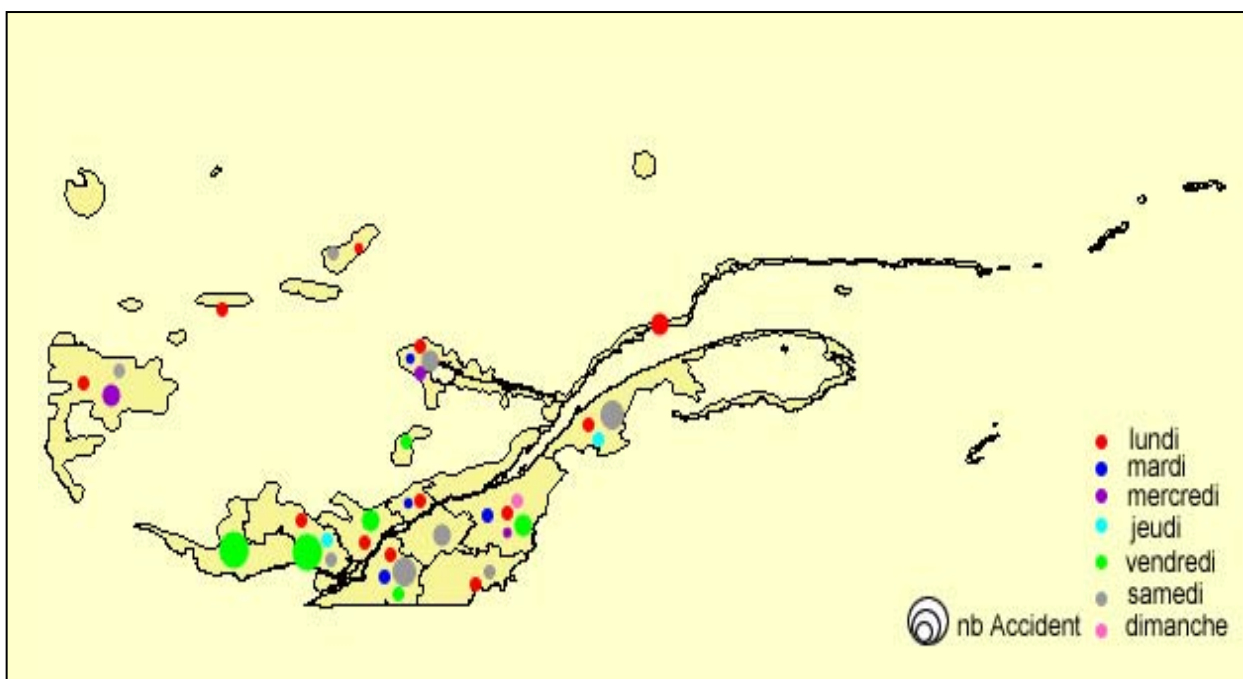


Figure 7 Visualisation spatiale du temps pour une mesure donnée

La figure ci-dessus illustre ce concept : la grosseur du point matérialise à l'écran le nombre d'accidents (plus le point est gros et plus le nombre d'accidents est important) tandis que la couleur du point varie en fonction du jour de la semaine.

Ainsi, on peut voir que le vendredi et le samedi représentent les jours les plus à risques.

On vient d'énumérer différentes manières de visualiser l'information temporelle. Il s'agit maintenant de définir ce que la légende temporelle devra autoriser. Elle doit permettre :

1. De naviguer de membre en membre (tout en permettant de visualiser l'état du niveau i.e. le membre représenté sur la carte),
2. Elle doit proposer des options de forage dans un membre de la dimension (ex. : forer dans 1999 pour visualiser les mois de l'année 1999)
3. Elle doit aussi posséder un outil de forage dans le niveau complet (ex.: passer d'une visualisation année par année, à une visualisation mois par mois). Ce forage peut également s'appliquer lors de la représentation du temps de manière spatiale (voir illustration précédente). Ainsi, si on reprend l'exemple des accidents échelonnés durant la semaine, on peut choisir de forer et la granularité peut passer du jour à l'heure (On pourrait par exemple formuler des requêtes du type: le nombre d'accidents le vendredi après 21h ou le nombre d'accidents pour tous les jours de la semaine après 21 h).
4. L'utilisateur doit également pouvoir forer latéralement (« drill-across » de membre en membre)

Ce sont les fonctions de base d'un SOLAP, il est nécessaire d'y avoir accès dans la légende afin de conférer à celle-ci son caractère interactif et forable. L'utilisateur qui observe la carte et sa légende n'a plus besoin de retourner dans le côté OLAP pour effectuer ses opérations de forage, la légende lui permet d'affiner son analyse et de continuer sa visualisation spatiale.

Après cette énumération des fonctionnalités essentielles d'une légende temporelle (point 1 à 4 du paragraphe précédent), on peut s'intéresser à une autre manière d'utiliser le temps. En effet, au lieu de représenter le temps d'une façon chronologique, on peut choisir de visualiser le temps selon une mesure particulière et teinter chaque année de la légende d'une couleur témoignant de son appartenance à un domaine de valeurs particulier pour la mesure représentée. Par exemple, on peut classer les cartes prises chaque année en fonction du taux de rejet de CO<sub>2</sub> moyen, chaque année de la légende serait teintée d'une couleur

différente en fonction du taux de rejet (voir l'illustration suivante) Ce type d'analyse existe mais n'entre pas dans le domaine de cette recherche.

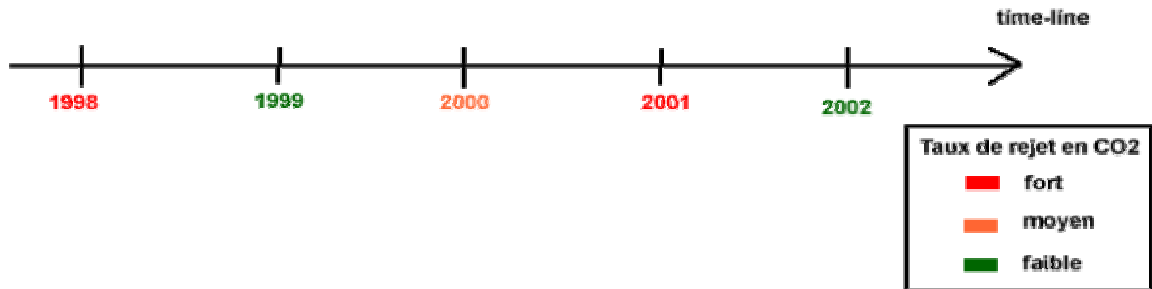


Figure 8 Légende comportant un contenu d'analyse

Dans la figure ci-dessus on peut voir que les années 1998 et 2001 ont connu un très fort taux de rejet en CO<sub>2</sub> alors que 1999 et 2002 n'ont obtenu qu'un faible taux.

Les moyens de représentation de la légende

Comme Peuquet l'écrit , il existe trois grandes classes de requêtes spatio-temporelles auxquelles on doit s'intéresser:

- Les changements dans l'objet (est-ce que la qualité des eaux a changé depuis les quinze dernières années ?)
- Les changements dans la distribution spatiale de l'objet (où se trouvait cet objet il y a deux ans)
- Les relations temporelles entre les phénomènes géographiques (relation d'Allen par exemple)

C'est en tenant compte de ces informations que plusieurs formes de légendes se sont imposées (détaillées dans les prochains paragraphes) :

- La ligne temporel ou "time-line"
- Le cycle
- Le calendrier
- L'animation automatique



## 1.4.4 L'aspect spatiale de la légende

### A. Contexte

Lorsque l'on parle de SOLAP, on parle d'une structure multidimensionnelle couplée et synchronisée avec une interface permettant de diffuser des données référencées spatialement. Le volet spatial est donc important puisque qu'il caractérise l'outil d'analyse SOLAP.

Mais il est important de comprendre que les éléments visualisés sur une carte sont les mesures de l'hypercube du OLAP, ce sont donc des informations sémantiques qui appartiennent au volet thématique. On peut donner l'exemple du nombre d'accidents calculé sur le réseau routier (voir figure ci-dessous). La mesure est le nombre d'accidents, c'est une donnée sémantique qui est représentée spatialement. La légende doit illustrer à la fois le volet thématique (classes d'accidents de couleurs différentes) mais doit également apporter des explications sur l'objet spatial en lui-même auquel s'applique la thématique i.e. le réseau routier (par exemple, elle comportera les informations sur les différents types de routes de poids différents sur la carte)

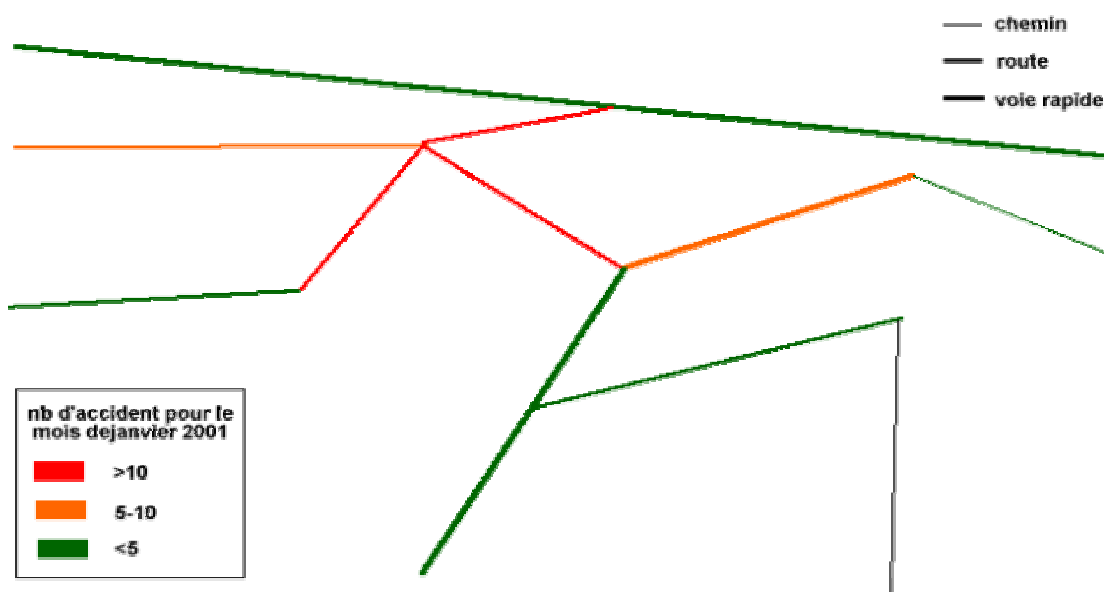


Figure 9 Nombre d'accidents sur le réseau routier

On ne s'intéressera pas aux dimensions spatiales complexes car elle soulève des problèmes d'intégration trop complexe pour le cadre de cette maîtrise. En effet,

“Une BDMDRS<sup>3</sup> peut être composée d’une ou plusieurs dimensions spatiales. Celles-ci peuvent couvrir la même superficie ou volume et correspondre à des découpages de l’espace totalement différents. Lorsque la ou les dimensions spatiales contiennent des découpages hétérogènes, il est parfois nécessaire d’effectuer des traitements de recouvrements (overlap) afin de garantir la cohérence entre la représentation cartographique et les valeurs de mesure du cube OLAP “ (Brisebois, 2003)

La dimension spatiale, elle-même peut se révéler être un élément interactif. Elle est navigable et forable (exemple le réseau routier proposé peut être plus ou moins détaillé, quand on fore dans cette dimension de nouvelles entités spatiales comme par exemple les routes secondaires ou les chemins se rajoutent) C’est précisément ce type de dimension spatiale qui doit comporter une légende interactive. Dans les paragraphes suivants, on s’intéressera aux éléments à inclure dans la légende puis à la manière de les traiter.

## **B. Les éléments à traiter dans la légende**

On peut apporter quelques pistes de réponses pour solutionner le problème du choix des éléments à incorporer dans la légende. Tout d’abord, on pourrait dire qu’il s’agit de proposer une adaptation de ce qui ce fait déjà dans les légendes d’un GIS, à savoir :

- Allumer ou éteindre une mesure ou une dimension spatiale, s’il en existe plusieurs (l’équivalent d’une couche dans un GIS)
- Gérer une thématique (l’aspect ainsi que les paramètres : intervalle, type de répartition...)
- Déterminer l’ordre dans lequel les mesures se superposent à l’affichage
- Jouer sur les variables visuelles : couleur, texture, taille, orientation, forme et valeur
- Changer la symbolique
- Rendre une mesure ou une dimension spatiale active
- ....

---

<sup>3</sup> Base de donnée multidimensionnelle à référence spatiale

Or, jouer sur cette symbolique ne rentre pas dans le cadre de ma maîtrise. En effet, le SOLAP pur ne doit pas permettre de modifier les cartes proposées, ce n'est pas un éditeur permettant d'améliorer le rendu pour imprimer de belles cartes. C'est avant tout un outil d'aide à l'analyse. Il est donc essentiel de privilégier la navigation au rendu artistique, ou travailler sur ce dernier seulement s'il améliore la première. Évidemment si certaines options permettent à l'utilisateur de mieux synthétiser l'information affichée, il sera judicieux d'en tenir compte. Par exemple, l'utilisateur aura la capacité au travers de la légende d'allumer ou d'éteindre une mesure (ou une dimension), de la rendre active pour y effectuer un traitement (ex: s'intéresser à l'évolution temporelle) et de déterminer l'ordre d'affichage des mesures (et/ou des membres des dimensions). En ce qui concerne le côté spatial (les cartes de contexte), on ne proposera pas à l'utilisateur les fonctionnalités décrites plus haut. En effet, la couche spatiale sur laquelle s'applique la thématique sera toujours le niveau situé le plus en arrière plan, elle aura un aspect prédéterminé et ne comportera pas de mesure intrinsèque que l'on peut rendre active. On abordera donc ces aspects "GIS" dans le paragraphe traitant de la thématique de la légende.

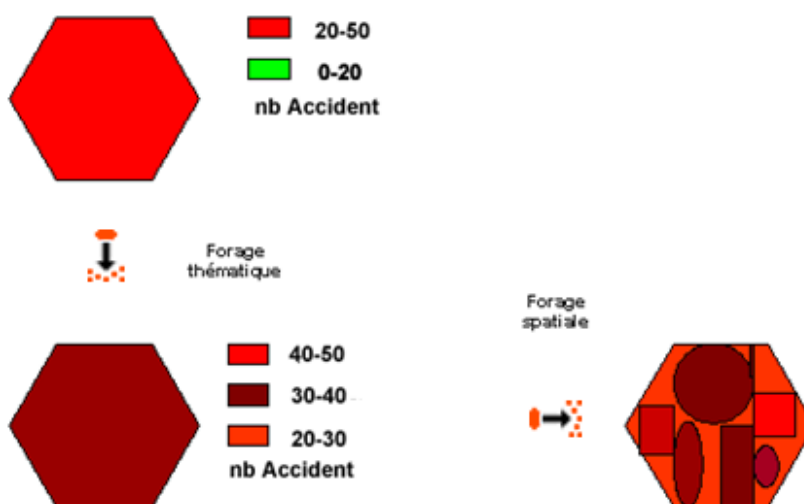
En ce qui concerne la légende spatiale, elle devra comprendre :

- La couleur de représentation de l'élément spatial (quand aucune thématique ne s'applique)
- Le style de variable de représentation : surface, ligne ou point.
- Le nom du niveau visualisé

De plus, certaines variables visuelles peuvent être utilisées pour dissocier les éléments spatiaux. Par exemple, le poids d'une ligne ou leur style pour représenter le type de voies (chemin, route, voie rapide...) alors que la thématique appliquée à ces segments utilisera la couleur pour se représenter (si par exemple on représente le nombre d'accidents par segment routier on les teintera du rouge au vert suivant le nombre d'accidents alors que le poids du segment sera fonction du type de voies cf. la figure plus haut)

On ne peut parler d'interactivité dans le SOLAP sans aborder le sujet des différents types de forage : vertical et latéral. Il est donc tout naturel de s'intéresser à ces fonctionnalités appliquées au cas du volet spatial de la légende. Mais avant

de penser à la manière d'inclure ces forages, il est essentiel de bien dissocier les forages spatiaux et sémantiques. En effet, au niveau de la carte il est possible de forer sémantiquement, on ira donc chercher un plus grand nombre de catégories dans la thématique illustrant la mesure. On peut prendre l'exemple illustré ci-dessous : les accidents qui étaient représentés sur la carte en deux catégories (rouge et verte) sont représentés (après le forage sur la catégorie de couleur rouge) en 3 sous-catégories. Il ne faut pas confondre ce forage thématique avec le forage spatial qui lui discrétise la couche représentant la dimension spatiale (le polygone de la figure ci-dessous devient une série de polygones) Ces deux types de drill-down sont complémentaires et n'apportent pas les mêmes informations. On verra plus en détails les différentes corrélations qui existent entre le spatial, le thématique et le temporel dans un prochain paragraphe



Maintenant que l'on a défini le forage spatial de base (différentes variantes existent mais ne sont pas traitées ici), il convient de voir dans quel contexte il peut être incorporé dans la légende afin de la rendre navigable.

La légende doit pouvoir permettre les opérations de forage spatial i.e : sur les entités géométriques. Pour le forage vertical, il permettra de descendre d'un niveau agrégé à un autre plus détaillé. Si on prend l'exemple de la couche: dimension spatiale représentant les limites administratives, on forera des RSS (région socio-sanitaire) aux CLSC (centre local de services communautaires). Il conviendra de déterminer si l'on garde l'information du niveau le plus agrégé quand on fore (relation père-fils) ou si l'on perd ce lien afin d'éviter une surcharge

au niveau cognitif sur l'affichage de la carte. Un exemple de forage spatial est illustré dans la figure suivante.

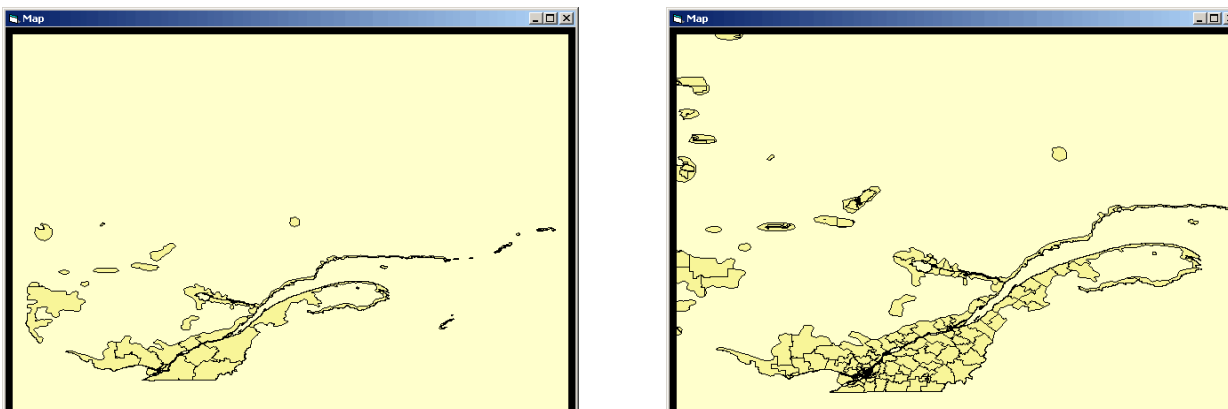


Figure 11 Opération de forage spatial

La légende autorisera également un forage latéral ou pivot. Celui-ci permettra de changer de support spatial. Si par exemple on disposait des limites administratives, le forage latéral pourrait permettre d'afficher un autre type de délimitation comme les limites écologiques. Ces deux types de supports ne sont pas liés par une relation hiérarchique, ce sont deux dimensions alternatives pour la dimension spatiale. On pourrait changer de type de navigation (donc de dimension alternative) à l'aide d'un menu déroulant se situant sur l'onglet des dimensions dans l'arbre de navigation (voir illustration suivante). Néanmoins, dans le cadre de ma maîtrise, on partira du fait qu'une seule dimension spatiale peut être affichée en même temps. Sur celle-ci, on pourra combiner plusieurs mesures.

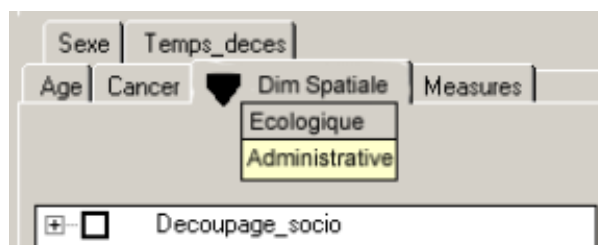


Figure 12 Dimension alternative

### 1.4.5 L'aspect thématique de la légende

La légende traitant de l'aspect thématique du SOLAP sera abordée dans ce paragraphe et plus loin dans le chapitre suivant. Il est important de préciser que dans le cadre de cette maîtrise, on n'abordera pas la légende traitant des aspects

autres que ceux représentés sur la carte i.e. que l'on ne s'intéressera pas à la légende pour:

- Les histogrammes
- Les tableaux
- Les graphiques en tarte

Ces représentations sont indépendantes et bien qu'elles soient liées à la carte (aspect synchronisation), elles n'entrent pas en compte dans la légende développée (la légende pourra par la suite être adaptée à ces vues dans des travaux futurs).

Afin de faciliter l'interprétation des données et proposer des moyens différents de les visualiser, on peut interfacier un outil qui vient au dessus du OLAP. Celui-ci exploite les données de l'hypercube et les enrichit (par des calculs à la volée, des modes de visualisation...) afin de permettre une analyse supplémentaire. Plusieurs interfaçages sont dès lors possibles au travers de la légende, ils seront exposés dans le chapitre suivant.

## Chapitre II. Les différents volets de la légende

Ce chapitre expose les éléments nouveaux qui pourraient être incorporés dans la légende afin d'accroître les possibilités de navigation et l'interactivité du SOLAP.

Les concepts théoriques ont été exposés dans le chapitre précédent. L'état de l'art dans cet axe de recherche est abordé au fur et à mesure de la présentation des différents éléments pouvant être inclus dans la légende. On abordera donc successivement plusieurs types de légendes adaptables au SOLAP. Le chapitre 3 discutera et justifiera les formes de légendes retenues.

Dans le cadre de cette maîtrise, les aspects de la légende se rapportant aux données représentées dans un tableau ou un graphique ne seront pas traités. La légende ne permettra que d'illustrer l'état de la carte du SOLAP et d'y naviguer (ex. glissière temporelle).

La légende peut-être déclinée sous trois thèmes différents :

- temporel
- thématique
- spatial

Une légende complète et bien définie doit traiter ces trois domaines mais, elle doit aussi s'intéresser à leurs intersections (ex : spatial-temporel, thématique-spatial...)

Il est nécessaire de respecter les règles de constances et d'employer les métaphores pertinentes pour garder une certaine cohésion dans l'interface.

La légende permettra aussi de gérer efficacement la visibilité des dimensions et leur ordre dans la pile d'affichage de l'interface cartographique.

Dans le cadre de cette maîtrise, on choisira les « métaphores » à utiliser dans la légende pour illustrer un phénomène mais en aucun cas, on discutera le choix de l'aspect visuel de celle-ci (formes, couleurs des boutons...) car c'est un domaine trop subjectif et trop personnel à chacun pour être généralisé.

## 2.1 Volet temporel

### 2.1.1 Comment représenter le temps d'une manière linéaire dans la légende ?

Une vision chronologique et linéaire du temps peut se représenter par la métaphore de la "time-line" (glissière temporelle avec curseur) comme le montre l'illustration ci-dessous. Cette représentation part du principe que l'utilisateur déplace le curseur temporel "de proche en proche" et qu'il voit, au fur et à mesure du déplacement, la carte qui s'anime. Il peut ainsi suivre l'évolution temporelle d'un phénomène particulier (feu de forêt, propagation d'un virus...). D'un point de vue cognitif, l'utilisateur compare une vue avec ses vues voisines directement situés avant et après sur la "time-line". Ainsi, l'usager compare l'année 2000 avec 1999 et 2001. Cette forme d'outil est adaptée à la représentation de phénomènes ponctuels dans le temps lorsqu'il n'y a pas de présomption de "pattern" ou rythme temporel identifiable par l'utilisateur (le cas échéant, une représentation cyclique sera plus adaptée)

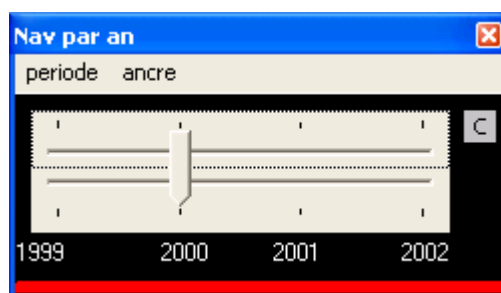


Figure 13 Curseur temporel ou "time-line"

Le curseur temporel convient parfaitement à la vision occidentale du temps : il est unidirectionnel et linéaire. C'est un élément de légende puisqu'à tout moment l'utilisateur est capable de voir la description temporelle (ex : dans l'illustration ci-dessus l'usager visionne une carte qui est en rapport avec la dimension temporelle pour le niveau des années et pour le membre 2000).

Le contexte du SOLAP nous conduit à chercher la façon d'inclure des outils de navigation spécifiques dans la légende temporelle. Cette recherche a permis de se poser des questions sur comment employer ces outils (forage, remontage...) dans le contexte d'une légende sans pour autant surcharger celle-ci. Il en a résulté que l'usager devait avoir la possibilité de :



1. Forer sur un membre en particulier. L'utilisateur navigue d'année en année par exemple, il découvre un élément qui attire son attention sur la représentation de l'année 2000. Il décide donc de forer dans cette année pour voir la représentation de chaque mois et ainsi poursuivre le cheminement mental de son analyse. Au niveau du design du forage, plusieurs scénarii sont possibles. L'action de forer peut conduire :

A. à la modification de la time line :

- l'année où s'effectue le forage se découpe en mois par mois comme le montre la figure ci-dessous. Dans cet exemple, c'est l'année 1999 qui se découpe en douze mois.

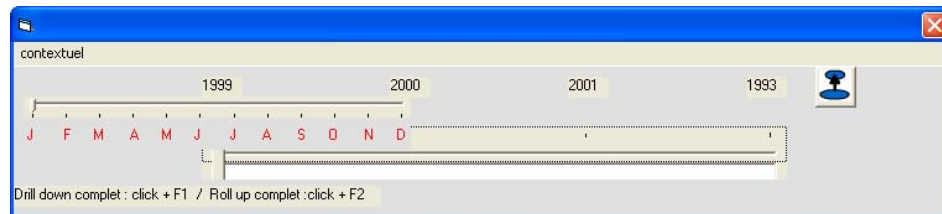


Figure 14 Action de forage sur la "time-line" version 1

- au dessous de l'année où s'effectue le forage s'inscrit le mois visualisé avec la possibilité de se déplacer de mois en mois à l'aide de flèche (voir illustration ci-dessous). L'avantage majeur d'un tel type de représentation est le gain de place conséquent par rapport à la version précédente (un seul mois est affiché au lieu de douze) » Par contre, seule une navigation de proche en proche est permise (elle n'autorise pas de visualiser le mois de janvier puis le mois de novembre par exemple, ni plus d'un mois à la fois)



Figure 15 Action de forage sur la "time-line" version 2

B. l'apparition d'une seconde "time-line" se situant en dessous de la première. Elle pourra être horizontale ou verticale. Il existe différentes

combinaisons pour afficher les deux lignes temporelles, la figure ci-dessous en illustre trois. On peut voir par exemple que la figure du milieu occupe beaucoup plus de superficie que les deux autres. De plus, au point de vue cognitif, il serait peut-être préférable de n'avoir qu'une seule fenêtre représentant le temps afin de ne pas surcharger l'interface et ne pas perdre le lecteur. Il conviendra dans le prochain paragraphe de peser le pour et le contre de chaque alternative.

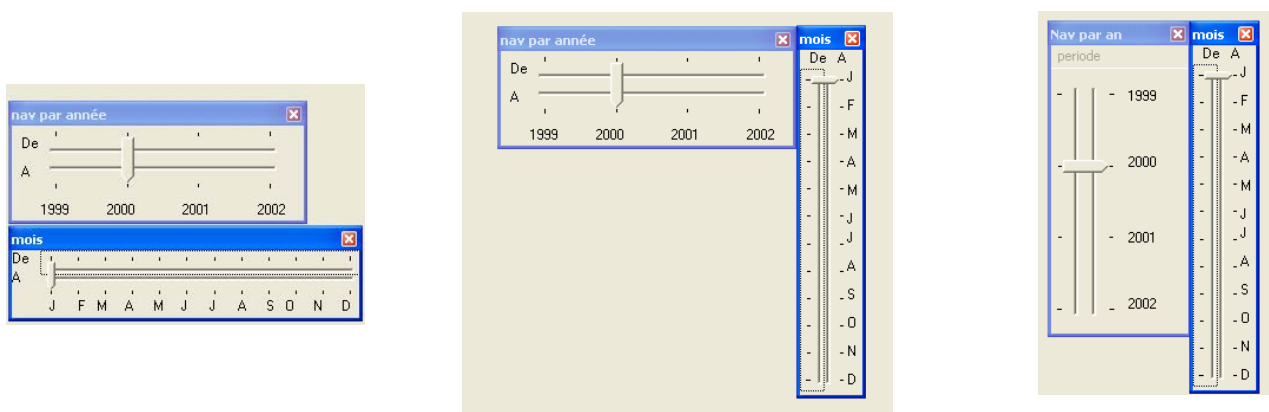


Figure 16 Action de forage sur la "time-line" version 3 déclinée sous trois formes distinctes

2. Forer sur tous les membres du niveau. Ainsi, on passe d'une visualisation de granularité annuelle à une visualisation mensuelle par exemple. On fore dans la hiérarchie, on creuse pour obtenir des informations plus détaillées.

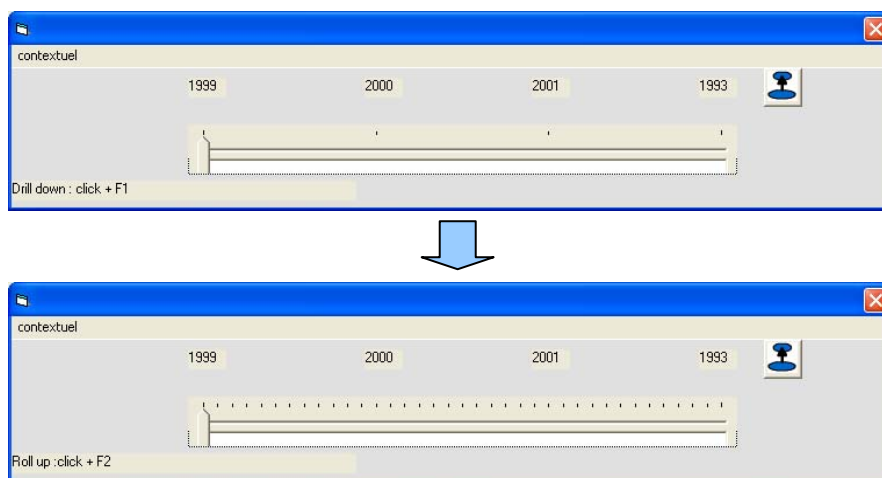


Figure 17 Forage sur la "time-line" de manière globale

D'autres outils « non conventionnel » pour le SOLAP peuvent se révéler pertinents. Par exemple l'utilisateur pourrait avoir la possibilité de visualiser un panorama de la

hiérarchie inférieure grâce à un simple clic sur le membre qu'il veut interroger. Par exemple, si l'utilisateur navigue d'année en année et qu'il clique droit sur une année en particulier, il aura accès au panorama ("thumbnail") de celle-ci, mois par mois (voir illustration du panorama ci-dessous). L'utilisateur visionne l'ensemble d'une année d'un seul regard, ainsi il est capable de détecter des césures au niveau de l'évolution du phénomène représenté sur la carte. L'usager peut ensuite sélectionner les vues qui attirent son attention pour les afficher en grande taille et affiner son analyse.

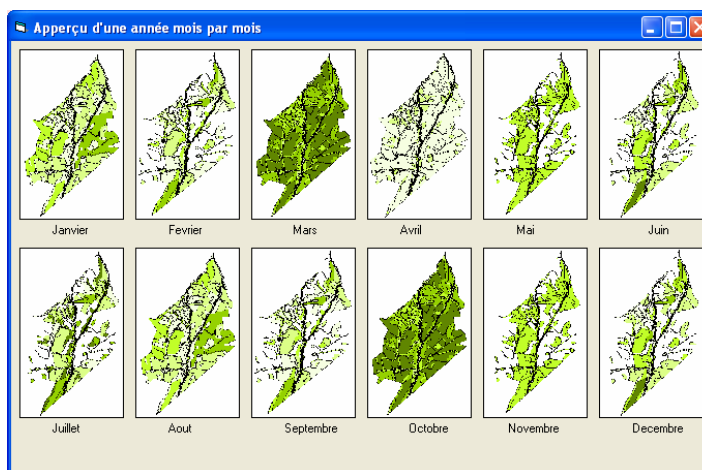


Figure 18 Panorama d'une année mois par mois

Il est également important que la légende temporelle, représentée par une ligne temporelle ou encore « time-line », soit flexible. Elle doit posséder certaines options qui permettront à l'usager de visionner les éléments dont il a besoin comme:

1. Une période d'années consécutives (de 1998 a 2001 par exemple) qui sera exposée sur une seule carte et où
  - les années auront été recombinaées selon un indicateur (médiane, moyenne...) Cela revient au résultat d'une requête
  - au fur et à mesure du déplacement du curseur, ce n'est pas l'état de chaque membre que l'on visualise mais l'accumulation du phénomène mesuré. (ex : si la borne inférieure de la time-line illustrée dans la figure ci-dessous par le curseur du dessous positionné sur 2000 et que l'on déplace le curseur supérieur sur 2001 et que la mesure visionnée représente le puissance des tremblements de terre, alors tous les tremblements de 2000

et de 2001 s'afficheront sur la même carte) Ce concept est tiré de l'article « Interactive Maps for Visual Data Exploration »

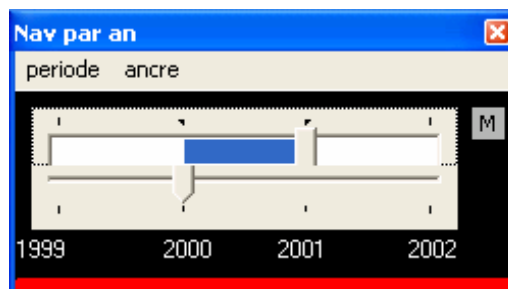


Figure 19 « time-line » pour une période

2. Plusieurs années consécutives qui seront visualisées sur plusieurs cartes : Chaque membre faisant partie de l'intervalle sélectionné [2000,2002] sera représenté sur une carte différente afin de pouvoir aisément les comparer. (donc pour la figure suivante, il y aura trois cartes affichées : 2000, 2001, et 2002)

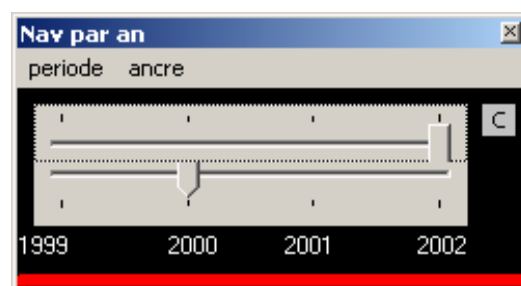


Figure 20 « time-line » pour plusieurs années consécutives

3. Plusieurs années non consécutives (1998, 2000 et 2002 par exemple) : dans ce cas, le curseur temporel pourrait se séparer en autant de parties que de membres à sélectionner.

Pour chacune de ces visualisations, l'interface doit permettre à l'utilisateur de choisir l'indicateur de mesure (la moyenne, l'écart type, la médiane, le mois minimum ou maximum...) adapté à ses besoins et cela de manière rapide et instinctive. Un des moyens permettant la sélection de cet indicateur de mesure est l'utilisation d'un petit icône d'état. L'usager, d'un simple clic changera l'état cet indicateur. Prenons l'exemple du niveau année : quand on navigue, il est possible de choisir la vue de l'année que l'on veut analyser. Pour passer d'une image représentative à une autre, on peut cliquer sur le bouton pictogramme (inspiré de

logiciels de traitement de texte comme Microsoft Word) qui changera de symbolique suivant l'état :

- ▣ Début de l'année (on visualise le mois de janvier ou la moyenne de janvier et février de l'année sélectionnée)
- ▣ Milieu de l'année (on visualise le ou les mois représentatifs du milieu de l'année: juin et juillet par exemple)
- ▣ Fin de l'année (on visualise le mois de décembre ou bien la moyenne de novembre et décembre seront les éléments illustrant l'année)
- ▣ Moyenne de l'ensemble des mois de l'année visualisée.
- ▣ Choix d'un mois en particulier représentatif de l'année e cours de visualisation.

Lors de la navigation, deux scénarii sont possibles : une fois le pictogramme choisi on ne peut plus le changer pour le reste de la navigation sauf en utilisant le menu du haut ainsi on évitera les mauvaises manipulations et surtout les mauvaises interprétations (ex : 1999 vue du début de l'année et 2000 vue du milieu... la comparaison devient difficile). Le second scénario est le suivant : sur chaque membre (ex : 1999), on ajoute un bouton pictogramme ainsi d'une seul coup d'œil on voit l'état de chaque membre du niveau. Cela peut-être utile si un utilisateur désire visualiser des époques différentes suivants les années (ex : une période de sécheresse qui ne s'est pas passée au même moment suivant les années en août pour 1998 et en juin pour 2002 ; alors que l'utilisateur désire comparer l'ampleur de le sécheresse année par année, on sélectionne donc le ou les mois de chaque année où a eu lieu la sécheresse)

### **2.1.2 Comment représenter les cycles récurrents du temps au sein de la légende ?**

Lors de sa navigation dans le SOLAP, l'usager peut avoir identifié un rythme temporel particulier qu'il désire vérifier et approfondir à l'aide d'une visualisation cyclique du phénomène. En effet, certains patrons peuvent mieux ressortir dans un représentation cyclique car le dernier élément se trouve proche du premier, ainsi dans l'illustration suivante, décembre s'enchaîne avec janvier puis février alors que dans une représentation linéaire de l'année mois par mois, décembre et janvier se

retrouveraient à chaque extrémité de la ligne et seraient donc de ce fait plus difficiles à comparer. Certaines catastrophes naturelles comportent un certain rythme qu'il peut être bon de visualiser pour approfondir leurs compréhensions (les inondations par exemple)

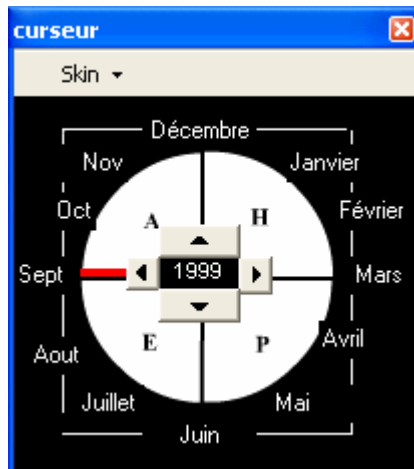


Figure 21 Légende temporelle cyclique

Afin d'exposer les avantages du cycle temporel, Donna Peuquet affirme que le cycle peut favoriser les investigations des rythmes récurrents, de cycles comme par exemple les heures de trafic dans les réseaux routiers: en focalisant l'affichage sur les heures de pointe, un analyste en environnement peut discerner des corrélations avec d'autres mesures comme le taux de rejet en gaz toxique .

Le cycle idéal devrait s'adapter à toutes les situations. Il devrait être entièrement paramétrable pour répondre à toutes les attentes de l'utilisateur et s'adapter à tous les patrons de phénomènes récurrents qui existent. Ainsi l'utilisateur pourrait jouer sur :

- le grain du pas de navigation : l'année, le mois, l'heure ou bien choisir un nombre de jours ou d'heures....
- la période du cycle: c'est le temps mis par le cycle pour revenir sur un même élément. Ici aussi on peut choisir des cycles déjà paramétrés ou donner la possibilité à l'utilisateur de définir le nombre exact d'éléments à afficher avant de revenir au début du cycle

Il existe aussi des inconvénients à une telle liberté de paramétrage. En effet, L'utilisateur peut se perdre dans un outil trop complexe et trop long à utiliser. Le tâtonnement pour trouver la granularité et la période adéquate peut se révéler trop

long pour l'analyse en SOLAP. En effet, il est bon de rappeler le but d'un tel outil : faciliter l'analyse des données en proposant une navigation simple et rapide.

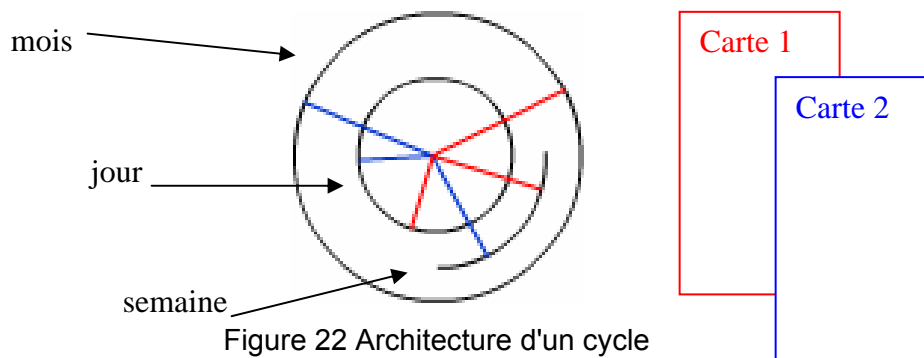
Le cycle doit comporter les éléments de base de la navigation dans un SOLAP: les différents types de forage (latéral et vertical) et la visualisation de plusieurs dates sur plusieurs cartes. Pour réaliser ces opérations, plusieurs alternatives sont possibles. Comme le montre l'illustration précédente, on a choisi d'insérer des boutons permettant de se déplacer d'année en année (forage latéral) ou d'année en mois puis en jour (forage vertical), c'est une fonctionnalité nouvelle qui n'a pas été retrouvée dans la littérature. A tout moment, l'utilisateur peut voir l'état de la donnée qu'il visualise. Ainsi dans cet exemple, la légende cyclique montre que la carte affichée est celle du mois de septembre de l'année 1999.

En ce qui concerne le forage vertical, il peut se faire de deux manières différentes:

- On remplace le cycle existant par un cycle de granularité plus fine (par exemple, on visualisait l'année, mois par mois et maintenant on visualise le mois, semaine par semaine) L'un des problèmes de cette visualisation est le fait que tous les niveaux ne comportent pas de rythme temporel récurrent. Il sera donc judicieux de coupler cet affichage avec celui de la "time-line". Ainsi, on pourra visualiser l'année vue mois par mois sous forme de cycle et forer sur un mois en naviguant avec un autre type de masque d'affichage comme par exemple le calendrier (voir ci-après)
- On rajoute autant de cercles concentriques (ou d'arcs de cercles si ce n'est pas un phénomène cyclique identifié) que de dimensions forées (si on est dans le niveau année dans le membre 1999 et que on fore au niveau des mois, j'obtiens un arc de cercle inscrit à l'intérieur du premier cycle...) On peut empiler jusqu'à trois niveaux consécutifs (après ces trois niveaux, le forage supprime le niveau le plus extérieur pour laisser place au niveau inférieur et ceci pour deux raisons : il y a trop peu de place dans le cycle pour empiler un nombre infini de niveaux et de plus, du point de vue cognitif, l'utilisateur n'est probablement pas capable de travailler avec plus de trois niveaux imbriqués compte tenu qu'il doit manipuler les autres dimensions non temporelle en même temps)
- On change le pas du cycle en gardant la même période exemple : on visualisait une année mois par mois et maintenant on visualise la même

année semaine par semaine) C'est un forage global sur tout un niveau alors que dans les deux points précédents le forage se faisait sur un membre du niveau.

En ce qui concerne la navigation de membre en membre dans le cycle, on peut choisir d'utiliser une aiguille (comme l'aiguille d'une montre). Ainsi, l'utilisateur déplace l'aiguille pour naviguer. Il pourra disposer de trois longueurs d'aiguilles en fonction du niveau dans lequel il se trouve qui seront de même couleur. On pourra vouloir afficher plusieurs cartes alors si on désire garder qu'un seul élément de légende (une seule légende en cycle pour toutes les cartes affichées), c'est la couleur de l'aiguille qui changera. La figure suivante représente l'architecture d'une telle légende : elle représente deux cartes de temporalité différente mais chacune étant au même niveau de forage (les aiguilles bleues pourraient représenter par exemple le jeudi de la semaine numéro 3, du mois de septembre de l'année 1999 alors que les aiguilles rouges représenteraient le mercredi de la semaine numéro 2, du mois de février de l'année 1999)



La carte sera cerclée de la couleur des aiguilles qui représentent son état (une bleue et l'autre rouge dans l'exemple ci-dessus). Evidemment, la représentation sur un même cycle de plusieurs cartes peut sérieusement alourdir la légende et la rendre incompréhensible. Plusieurs choix sont donc possibles : limiter le nombre de cartes visibles (donc par conséquent le nombre d'aiguilles sur le cycle) ou bien proposer un cycle différent pour chaque carte (dédoublément de la légende) comme on peut le voir dans l'illustration ci-après.



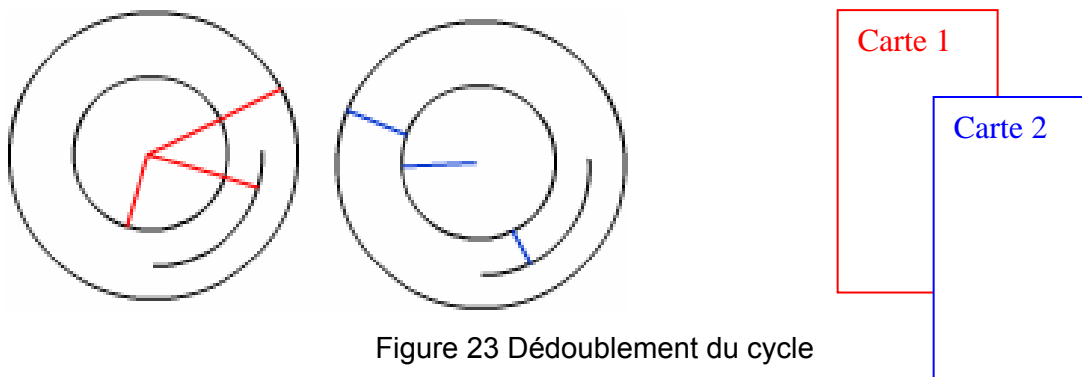


Figure 23 Dédoublage du cycle

Dans la figure ci-dessus, on a voulu montrer deux différentes manières de représenter les aiguilles de la légende (complète en rouge ou partielle en bleu). L'image des aiguilles partielles (en bleu) se rapproche de celle abordée par Donna Peuquet dans l'Apoala project (. Les cycles de son GIS temporel comportent des boutons pour chaque membre du niveau. Ainsi sur la figure ci-après, on peut voir en rouge que trois mois (mars – avril - mai) sont sélectionnés.

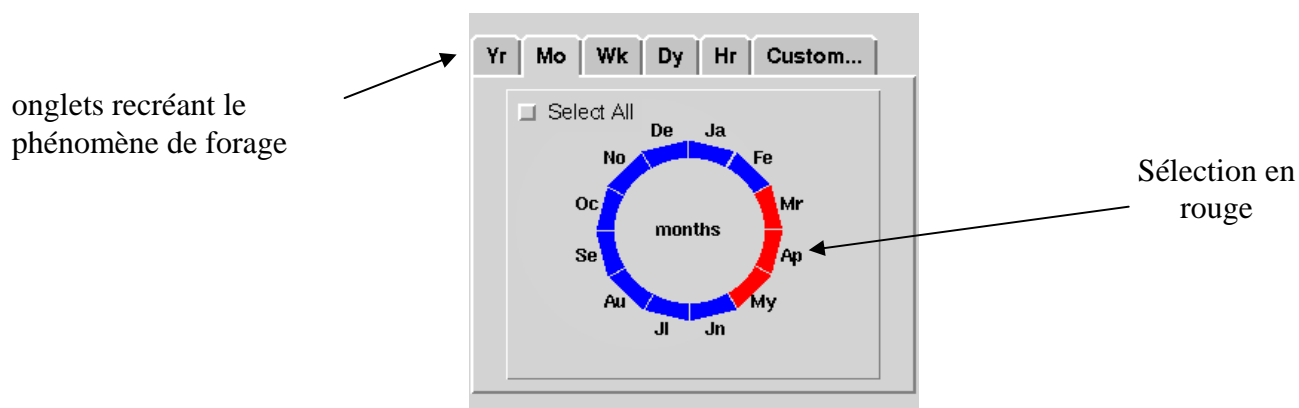


Figure 24 Exemple de cycle

Il pourrait également y avoir des boutons pour les saisons, ainsi par exemple si on clique sur hiver les mois de décembre, janvier, février et mars sont sélectionnés. Un autre point intéressant de cette représentation est la métaphore des onglets pour le forage (année, mois, semaine, jour et heure). Elle sera à réutiliser mais en l'adaptant à la pensée du SOLAP. En effet, l'opération de forage est vue verticalement d'un point cognitif, il sera donc intéressant de proposer ces mêmes onglets mais disposés de manière verticale.

### 2.1.3 Comment organiser le temps d'une manière connue dans la légende ?

La représentation du temps peut aussi se faire à l'aide d'un calendrier. En effet, c'est un modèle connu, on le réutilise donc pour faciliter l'apprentissage et l'utilisation. Cette transcription particulière du temps n'est valable que pour les jours d'un mois en particulier<sup>4</sup>. Ce n'est pas un outil universel, il ne s'adapte pas à tous les styles de découpage de la dimension temporelle. Mais ce masque d'affichage est néanmoins pertinent dans certains cas car il peut permettre de trouver de nouvelles corrélations auxquelles l'analyste n'avait pas encore pensées. Le principe de fonctionnement de cet outil de légende est assez simple : l'utilisateur se déplace avec les flèches du clavier, il dispose de quatre degrés de liberté :

- Vers la droite ou la gauche. C'est un déplacement chronologique de jour en jour, il est comparable à celui utilisé dans la « time-line »
- Vers le haut ou le bas. On passe ainsi en revue pour un même mois tous les jours de la semaine identiques (par exemple, on peut visualiser l'un après l'autre tous les vendredis du mois pour comparer les accidents sur la route ce jour-là). Il est à noter que cette navigation n'est pas cyclique, en effet, si on continue à se déplacer, on change de semaine.

Cette interface permet également de forer latéralement sur les mois et sur les années à l'aide des boutons de l'entête du calendrier (voir figure suivante)

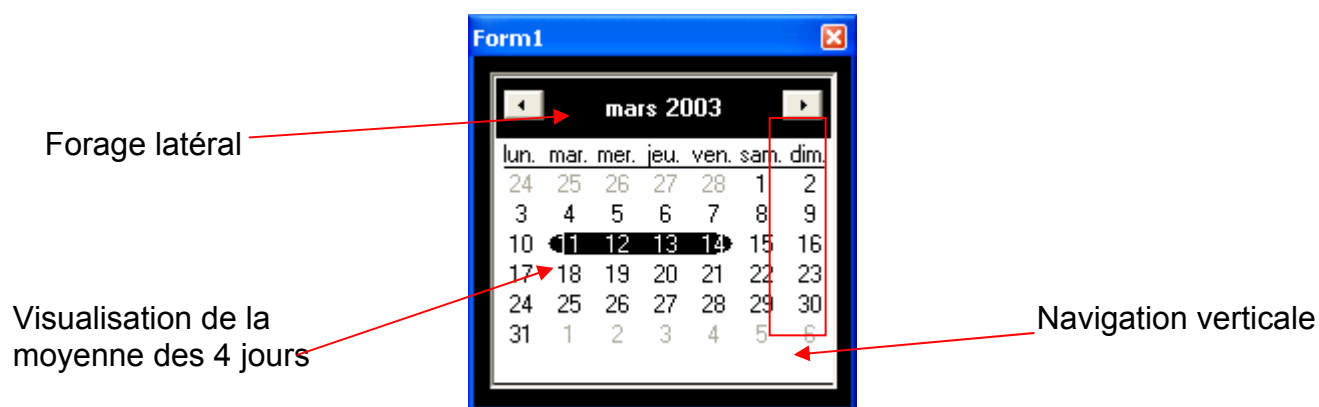


Figure 25 La légende par calendrier

<sup>4</sup> Il peut également y avoir des calendriers représentant l'année en entière mais pour cause d'un trop grand encombrement (douze fois plus grand qu'un calendrier normal) pour une légende, ils ne seront pas traités.

La disposition des jours du mois suivant une semaine favorise la mémorisation par bloc ou “chunking”<sup>5</sup>. Au niveau de la perception de l’usager, il voit se dissocier des groupes : par exemple tous les samedis du mois de mars 2003. Il peut ainsi les sélectionner en cliquant sur “sam”. Et ensuite appliquer un des indicateurs de mesure (défini dans la partie précédente sur la “time-line”: moyenne, médiane...). La manière de disposer l’information peut permettre d’identifier des patrons encore insoupçonnés. Par exemple, si on reprend le cas des accidents arrivant à un carrefour, ce type de légende pourra mettre en avant le fait que le taux d’accidents mortels est plus grand le vendredi.

Dans le contexte d’une structure multi-dimensionnelle, il faut faire attention au niveau des calculs à la volée trop fréquents. En effet, des statistiques faites au Centre de Recherche en Géomatique de l’université Laval (Brisebois 2003) montrent que le temps de réponse pour la partie OLAP est automatique (temps de réponse inférieur à la seconde) alors que pour la synchronisation avec la partie spatiale, l’affichage peut prendre quelques minutes lorsqu’on fait appel au couplage avec un SIG. Il y a donc une décision à prendre lors de la conception du SOLAP : doit-on permettre les mesures calculées à la volée? Où doit-on calculer tout à l’avance pour permettre à l’utilisateur une fluidité dans sa navigation? Où doit-on faire appel à une extension SIG spécialement développée pour un SOLAP? La réponse à cette question dépasse le cadre de cette maîtrise et ne sera donc pas traitée.

#### **2.1.4 Comment animer la carte à partir de la légende temporelle ?**

L’animation est le dernier type de légende temporelle que l’on abordera dans ce mémoire. Elle permet de faire défiler des cartes de manière automatique comme si on visualisait une séquence vidéo. C’est une visualisation performante pour analyser l’évolution d’un phénomène comme un feu de forêt ou la propagation d’un virus. Cet outil permet une fluidité dans l’enchaînement des cartes (plus les cartes sont prises à des dates rapprochées et plus l’utilisateur aura l’impression de

---

5

The process of actively organizing or grouping items in short term memory into a more manageable number of larger, meaningful chunks. [Office de la langue française, 1997]

visualiser un film continu) Il est important de voir que l'utilisateur, une fois l'animation paramétrée et lancée, devient passif au niveau de sa gestuelle, il peut donc se concentrer sur ce qu'il voit et augmenter sa capacité d'analyse. Par contre, plusieurs difficultés surviennent s'il y a trop de mouvement sur la carte .

Pour résoudre ce problème de surinformation, à tout moment l'utilisateur doit pouvoir stopper l'animation en faisant un arrêt sur image à l'aide du bouton pause. Puis, il peut décider de reprendre l'animation en pressant sur lecture ou encore avancer pas à pas à l'aide des flèches (voir figure explicative ci-dessous)

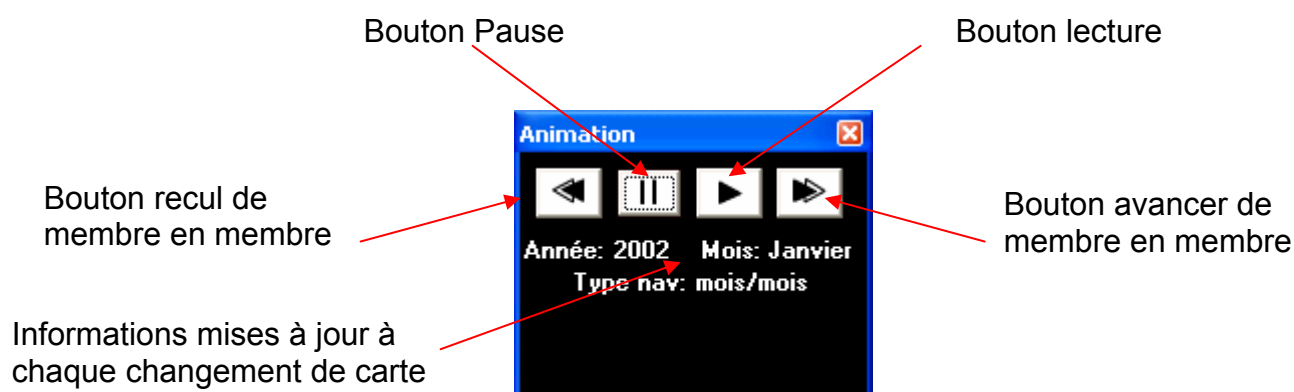


Figure 26 La légende temporelle par animation

L'utilisateur a accès en permanence à l'état de la carte qu'il visualise. Dans l'exemple ci-dessus, la carte affichée est celle de l'année 2002 pour le mois de janvier et l'animation avance avec un pas égal au mois. Cet état est synchronisé avec l'animation, c'est donc une partie de légende qui est en temps réel. L'état d'avancement de l'animation est directement inscrit en dessous des outils d'animation. De plus, quand on lance l'animation tous les modes de représentations temporelles sont synchronisés, ainsi le curseur temporel donne également l'état de la carte.

Le concept de lecteur automatisant le parcours temporel est repris dans le visualizer de Cognos comme le montre la figure suivante.



Figure 27 Lecteur temporel du Visualizer de Cognos

Un outil intéressant à intégrer dans cette animation est le concept de liste de lecture ("Playlist"). L'utilisateur peut définir ses propres séquences d'animation en paramétrant comme bon lui semble l'enchaînement des cartes. Ainsi, s'il a détecté

une corrélation entre plusieurs cartes il peut faire défiler seulement celle-ci (si on reprend l'exemple des accidents, l'utilisateur peut faire enchaîner tous les vendredi du mois les uns à la suite des autres sans se préoccuper des autres jours de la semaine)

Cette animation aura des caractéristiques par défaut que l'utilisateur pourra paramétrer selon ses besoins à l'aide du menu option. Il pourra jouer sur le pas de l'animation pour avoir une animation plus ou moins fluide. En effet, plus la granularité des dates des cartes affichées sera fine et plus l'évolution du phénomène observé paraîtra continue. Evidemment, il sera plus lent et plus long à afficher pour une même période car il y aura beaucoup plus de cartes à charger (L'utilisateur pourra par exemple pour une visualisation du niveau année choisir le nombre d'intervalles entre les deux cartes : 1 an, 2 ans...)

L'utilisateur pourra également paramétrer la période de l'animation, il devra ainsi répondre à la question : sur quelle période de temps souhaite-on voir évoluer le phénomène (souhaite-on visualiser l'évolution de l'inondation par exemple jour par jour sur une période d'une semaine ou d'un mois?)

Le navigateur proposera un bouton de lecture aléatoire (« Random ») qui permettra d'afficher un enchaînement de carte purement aléatoire afin de laisser le hasard trouver d'éventuelles corrélations entre les données.

Enfin, l'utilisateur pourra également choisir si l'animation effectue une boucle sur elle-même ou si elle s'arrête sur le dernier membre de la série.

Dans un cas, on permet de comparer le premier élément visualisé avec le dernier de manière équivalente avec les autres comparaisons Cette visualisation se rapproche de celle du cycle. On pourrait même choisir des séries de durées différentes en fonction de cycles naturels déjà identifiés.

Dans le deuxième cas, l'animation se comporte comme une "time-line", et traite les éléments de manière chronologique. Dans ce cas il n'y a pas de comparaison possible entre la première et la dernière carte puisqu'elles se situent aux deux extrémités de l'animation.

Ceci termine l'énumération des différents modes de représentations auxquels nous nous sommes intéressés en ce qui concerne le niveau temporel. Il n'est en aucun cas question de choisir laquelle de ces représentations est la meilleure. Chacune est adaptée à une situation particulière, à l'analyse d'une mesure distincte. Elles

sont donc complémentaires. On peut même penser à les inclure dans la légende temporelle en tant que masque de la légende interchangeable (à l'instar des masques d'affichage ou "skins" en anglais des logiciels permettant de lire les mp3). Mais, dans certains cas, il peut être intéressant d'afficher différents modes de représentations temporels en même temps (plus seulement des masques mais des outils différents à part entière) Dans le prochain chapitre, les éléments retenus pour la proposition finale seront exposés.

## 2.2 Volet spatial

### 2.2.1 Comment adopter un mode de visualisation de la légende spatiale déjà connue de l'utilisateur ?

La légende spatiale peut prendre une allure conventionnelle. Elle pourrait résumer les catégories présentes dans la carte comme on peut le voir dans l'exemple ci-dessous. Elle permet de visualiser l'état des variables géométriques. Le drill-down pourrait se faire:

- par clic droit sur le symbole pour accéder à un niveau inférieur à choisir dans une liste déroutante
- par clic gauche pour passer au niveau directement inférieur

Et il pourra faire apparaître les sous-routes puis les tronçons etc.

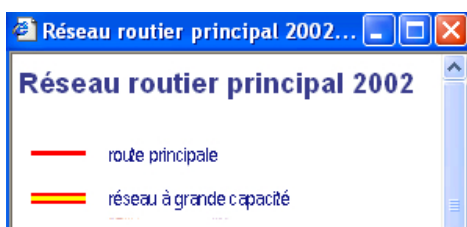


Figure 28 Légende réseau routier adapté de l'atlas des midi-pyrénées <sup>6</sup>

Après un forage, il convient de déterminer comment doit réagir la symbolique : doit-on continuer à proposer à l'utilisateur l'arborescence du niveau foré ou bien

<sup>6</sup> <http://www.midi-pyrenees.equipement.gouv.fr/>

doit-on casser le lien cognitif qui relie les différents niveaux du cube (les relations père-fils)

Si l'on décide de conserver ce lien, dès lors on peut appliquer le processus d'inhibition pour dissocier les parents des fils. Prenons l'exemple de la figure suivante, l'utilisateur décide de forer dans la légende au niveau de la catégorie B, une sous-légende apparaît comportant les disciplines comprises dans B, à savoir B1, B2 et B3. On peut faciliter la vision de ces nouvelles catégories en les décalant (phénomène d'activation) et en jouant sur la transparence des autres catégories (A, B, C). Ainsi les catégories B1, B2 et B3 sont mises en relief car elles possèdent des couleurs plus vives que A, B, C, D qui sont reléguées dans la couche dimension spatiale de la carte mais on garde quand même l'information générale de la première légende (il y a trois catégories A, B, C, D et les sous catégories font parties de B). En inhibant A, B, C, D on aide l'utilisateur à se focaliser sur B1, B2, B3

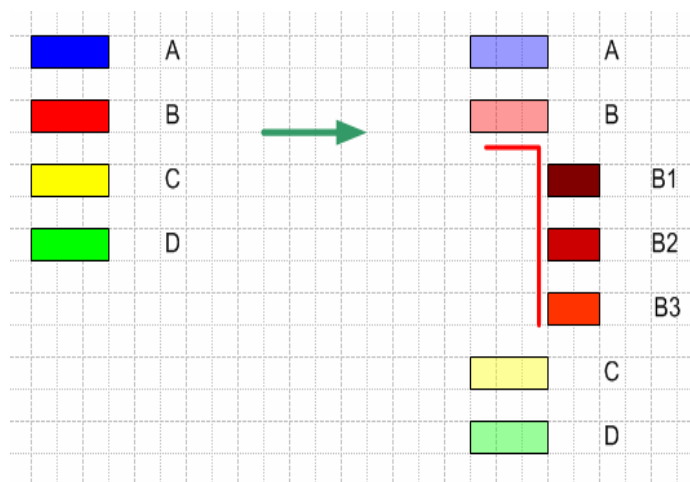


Figure 29 Le phénomène d'inhibition pour la légende d'une carte.

Ces liens ne peuvent être explicites dans la légende que pour un maximum de trois niveaux afin de garder la lisibilité de la légende et de ne pas la surcharger. Ce choix est directement lié à la capacité limitée de la mémoire de travail de l'être humain

## 2.2.2 Comment incorporer la légende spatiale dans l'arbre de navigation ?

On peut choisir d'incorporer la légende dans le volet OLAP de l'application. Comme l'illustre la figure suivante, on navigue dans l'arbre de sélection (de décision) du OLAP pour sélectionner les niveaux des dimensions à interroger et en même temps, on visualise les informations déjà présentes sur la carte affichée. Ainsi, dans cet exemple on peut voir que la limite de la province est représentée par un trait rouge de poids élevé, les régions socio-sanitaires en bleu et les CLSC avec un trait noir fin. On peut voir que la légende est incorporée à l'arbre déjà présent, elle n'apporte pas une surcharge. Elle reste discrète tout en étant présente et visible si l'utilisateur désire l'interroger. Les opérations de forage se font par l'intermédiaire de l'arbre déjà présent sans autres manipulations : quand on clique sur un "plus" pour découvrir une branche, on effectue un forage, on gère la visibilité sur la carte en jouant sur les cases à numéro (quand on clique dessus, un numéro s'affiche, il représente l'ordre de l'affichage 1 étant le plus en arrière plan et n la couche au dessus des autres). Ceci permet de connaître les éléments comportant une géométrie spatiale ainsi que leur ordre d'affichage (s'ils sont affichés)

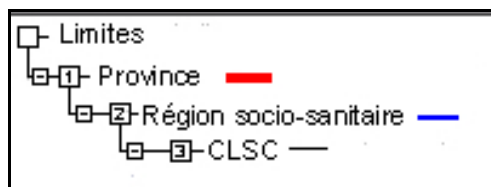


Figure 30 Arbre du OLAP pour la dimension spatiale

## 2.3 Volet thématique

### 2.3.1 Comment visualiser la distribution d'une mesure de manière linéaire?

Comme dans le cas du temps, on peut utiliser la métaphore de l'axe pour représenter certains éléments. Prenons l'exemple d'une mesure : le taux de CO2 dans l'atmosphère (responsable de l'effet de serre), on représente cette mesure sur un axe gradué de la valeur minimale observée à la valeur maximale (comme on peut le voir dans la figure suivante)



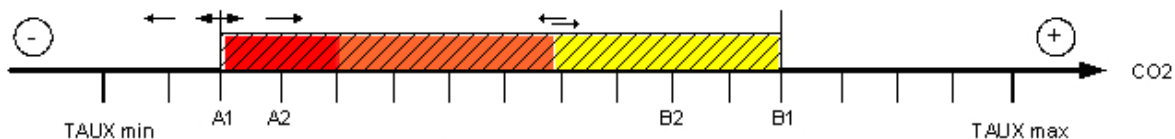


Figure 31 Légende thématique linéaire

Si sur la carte, le taux de CO<sub>2</sub> est représenté par un cercle de grosseur proportionnelle à sa valeur pour chaque région socio-sanitaire, seuls les points compris entre A1 et B1 seront présents. Les bornes de ces limites sont ajustables. Ainsi par exemple, l'utilisateur peut déplacer la borne inférieure de A1 en A2 et la borne supérieure de B1 en B2. Il joue avec ces limites jusqu'à isoler les valeurs critiques qui l'intéressent. En effet, si le nombre de points à afficher est trop grand, il se peut que l'utilisateur ne puisse pas bien analyser le jeu de données. En faisant varier les bornes, il sclérose son domaine de travail à la zone qui l'intéresse. On peut évidemment penser que cette zone de travail peut être discontinue comme l'illustre la figure suivante. Il est également possible de jouer sur les limites des classifications de la légende, en faisant varier les bornes des zones de couleur de la figure ci-dessus. Cette représentation est très intéressante car elle permet de quantifier l'intervalle de la thématique. La comparaison entre l'importance de chaque catégorie de la thématique est dès lors facilitée. On peut voir dans l'exemple de la figure 32 que la catégorie rouge est beaucoup plus petite que la jaune.

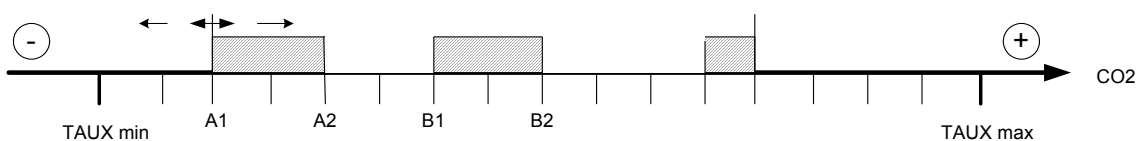


Figure 32 Affichage discontinu dans une légende thématique linéaire

Ce type d'interrogation se fait manuellement et pourtant elle correspond à une requête sur le cube avec le lancement d'un calcul à la volée. C'est pourtant transparent pour l'utilisateur : c'est un manière différente d'interroger le cube qui apporte une nouvelle possibilité d'analyse. Si on revient au côté temporel, ce type d'interface peut être utilisée pour produire des requêtes du type : la visualisation des tremblements de terre depuis les cinq dernières années . Cet outil peut être considéré comme une légende car il montre quelles informations sont affichées sur

la carte (dans la figure 33 on peut voir que le taux de CO<sub>2</sub> est affiché pour des valeurs appartenant au domaine [A1, A2] U [B1,B2] U [C1,C2])

### 2.3.2 Visualiser plusieurs mesures en passant de l'une à l'autre à l'aide d'une légende linéaire

L'axe peut également remplacer l'arbre de navigation et proposer une navigation de mesure en mesure par déplacement du curseur. Ainsi sur la figure 34, l'utilisateur peut passer d'une mesure à une autre en déplaçant seulement le curseur. A tout moment il connaît la mesure affichée sur la carte car c'est celle où se situe le curseur sur l'axe.

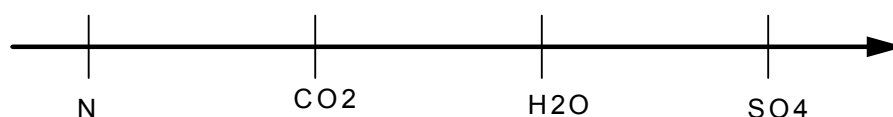


Figure 33 Navigation de mesure en mesure par glissière

### 2.3.3 Comment adopter un mode de visualisation de la légende déjà connue de l'utilisateur ?

Il est indispensable de proposer à l'utilisateur une légende plus « conventionnelle » i.e. qui représente les catégories de la thématique représentée sur la carte. L'utilisateur est habitué à ce style de légende, il est donc intéressant de le réutiliser. Le nombre de catégories respectera la règle d'affichage énoncée par qui veut que la thématique soit divisée en 7+/-2 parties. On peut voir un tel type de légende sur l'illustration suivante. Elle ressemble à une légende dans une carte statique à l'exception de l'interactivité dont l'utilisateur dispose :

- les opérations de forage : par exemple, le clic droit sur l'une des catégories de la légende pourrait donner accès à un menu déroulant qui permet de choisir le type de forage ainsi que le membre à forer. Le pivot ne peut s'effectuer que sur la dimension spatiale (car nous sommes sur la carte). Par un clic gauche, l'utilisateur fore directement sur la dimension par défaut. Ce mode de navigation est utilisé dans l'application client OLAP *Proclarity* pour permettre un forage dans les tableaux et les graphiques.
- Les opérations d'ouverture : ce sont des types de forages particuliers. Ils permettent de forer sur un membre en particulier tout en gardant les autres membres sur le niveau supérieur. Si on prend l'exemple d'une carte faite de

polygones représentant les pays du monde et que j'effectue une ouverture sur la France, alors là on verra apparaître le niveau inférieur pour le polygone français à savoir: les départements; alors que les autres pays n'auront pas changé.

- Choix de l'indicateur de classification: certains phénomènes ne sont visibles que lorsque l'on n'utilise un indicateur de classification spécifique. Il devient donc intéressant de pouvoir changer cet indicateur de manière simple et rapide. En effet, il faut garder à l'esprit que le SOLAP ne doit pas ralentir le flux de pensée de l'utilisateur. Ainsi, on pourrait placer un bouton sur la légende qui d'un simple clic intervertirait l'indicateur (comme l'illustre la figure suivante). On passerait d'un indicateur de déviation standard à celui d'un compte égal ou d'une moyenne égale. Ce concept est à rapprocher de celui développé dans la partie temporelle où l'interface devait permettre à l'utilisateur de choisir un indicateur (la moyenne des années, l'écart type, la médiane, le mois minimum ou maximum...) par l'intermédiaire d'un icône symbolisant l'indicateur sélectionné.

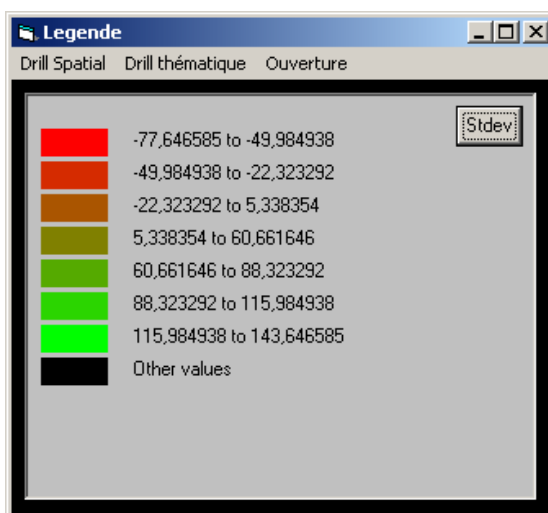


Figure 34 Légende thématique interactive

Cette légende paraît suffisante pour illustrer l'état de la carte visualisée. Mais que se passe-t-il quand on désire visualiser une légende alors que plusieurs mesures sont représentées sur la carte ou bien qu'il n'y a qu'une seule mesure mais que différents membres sont sélectionnés ?

### **A. Visualiser une légende quand plusieurs mesures sont représentées sur la carte ?**

« Jusqu'à trois composantes, une information peut être perçue en une image. Au-dessus, elle nécessite la perception de plusieurs images successives » . En considérant cette règle de sémiologie graphique et si l'on désire que l'utilisateur synthétise l'ensemble des classifications de la carte, il paraît intéressant de ne représenter pas plus de trois mesures sur une carte. En effet, il est possible de jouer sur la couleur, la texture et d'insérer un symbole de grosseur variable sur le centroïde de chaque item cartographié. Mais, il devient plus difficile de jouer sur plus de variables visuelles si l'on veut que l'utilisateur puisse comprendre la carte dans son intégralité. Dès lors, la légende doit donc pouvoir afficher entre une et trois thématiques différentes. La figure suivante aborde deux manières de représenter ces thématiques dans la légende. On désire représenter trois mesures : le nombre d'accidents, le nombre de morts et le facteur de risque sur trois surfaces polygonales. On peut choisir de représenter chaque thématique de manière alternative. (On change de thématique à l'aide d'un menu déroulant) ou alors on propose une légende exhaustive qui présente les trois mesures. Il existe d'autres types de représentation que l'on aborde dans le point suivant.

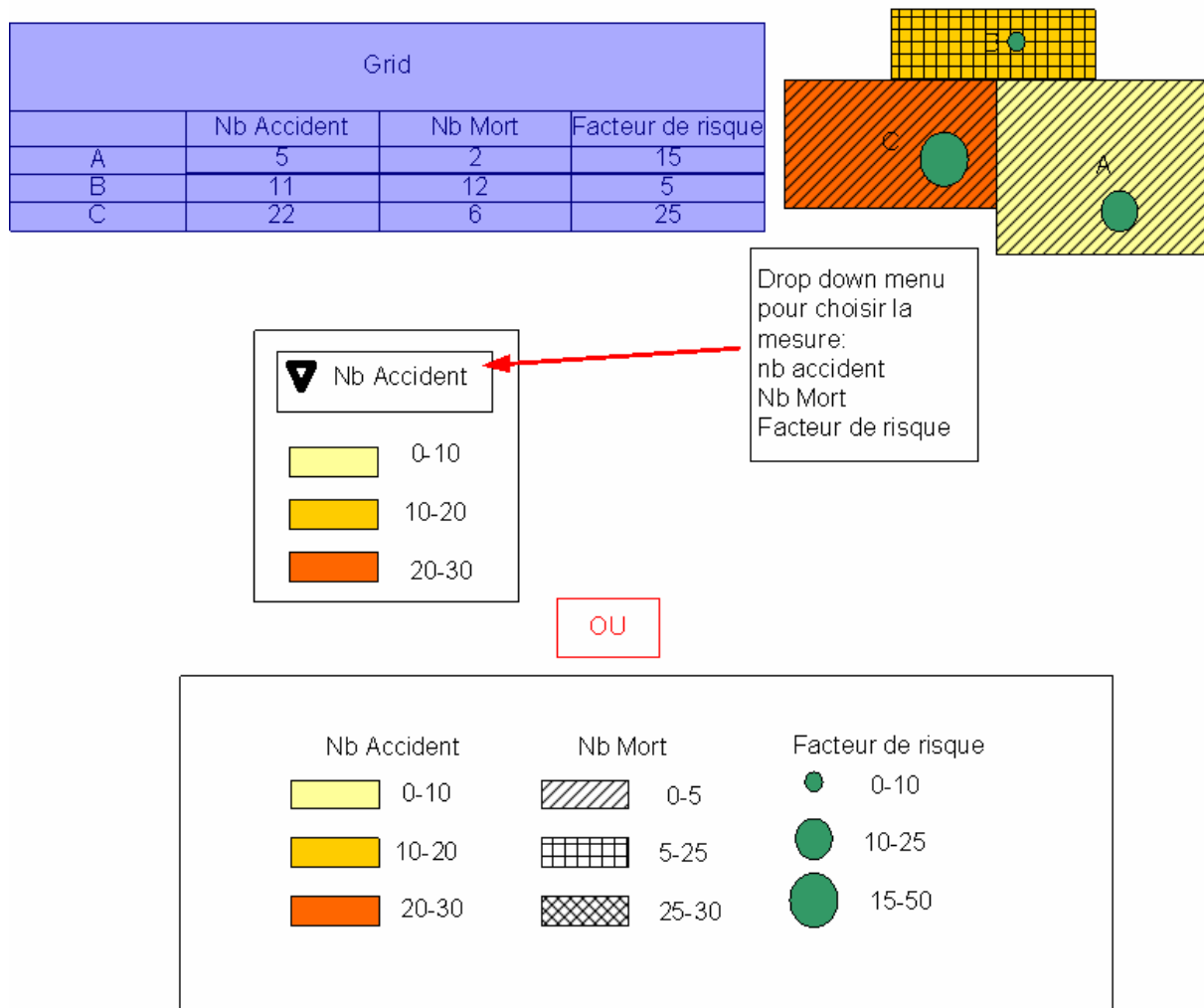


Figure 35 Possibilités de légendes thématiques lors de l'illustration de plusieurs mesures

## B. Comment représenter une seule mesure mais sur différents membres d'une dimension?

Les moyens de représenter cette légende recoupent ceux du point précédent. Il y a la possibilité de présenter toutes les combinaisons possibles entre les différents membres comme le montre la représentation 1 dans la figure suivante. Cela peut devenir rapidement trop volumineux à afficher. On peut également représenter ces trois thématiques en les hiérarchisant. Mais là encore, il n'y a aucun moyen automatique de déterminer dans quel ordre on fait la hiérarchisation (illustrée dans la représentation 2 de la figure suivante). Enfin, la représentation 3 propose une légende simple et concise pour représenter les thématiques. Cependant, il appartient à l'utilisateur de composer mentalement les différentes combinaisons des trois thématiques.

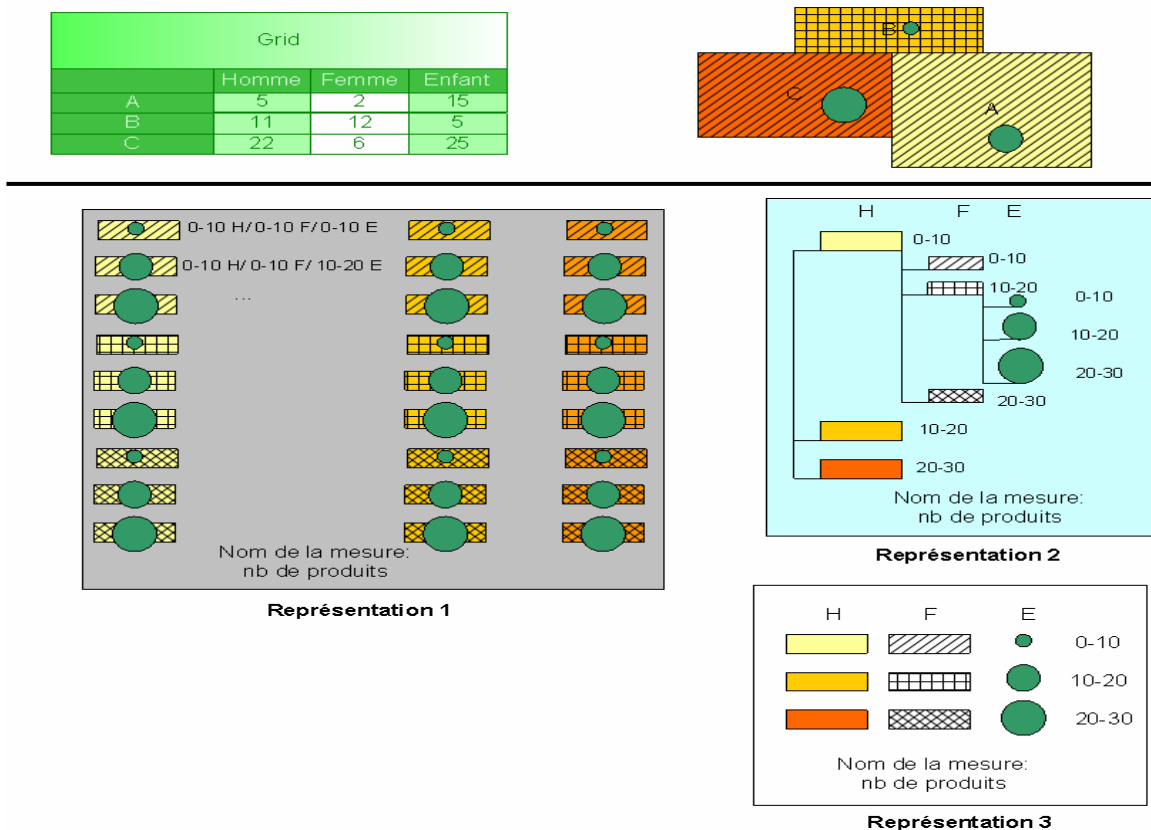


Figure 36 Possibilités de représentation de la légende thématique quand plusieurs membres sont sélectionnés

### C. Comment matérialiser le résultat d'un forage dans la légende ?

Étant donné que l'on propose différents types de forage à l'utilisateur (forage sur un niveau en entier, sur un membre, ouverture d'un membre en gardant le niveau père affiché...), il convient de proposer des représentations adaptées de ces opérations. La figure ci-dessous en propose quelques-unes.

Ainsi, si on désire forer dans une catégorie de la légende (exemple l'intervalle [100 000,500 000] de la figure ci-dessous), alors le forage s'effectue sur les items qui appartiennent à cette catégorie (l'Asie et l'Europe dans ce cas) et c'est un forage spatial qui a lieu via l'intermédiaire de la légende thématique. Mais celui-ci concerne un groupe spécifique de membres (ceux compris dans l'intervalle) et non pas un seul membre ou bien tout un niveau.

On peut également effectuer une ouverture dans la légende comme le montre le scénario de droite sur la figure ci-dessous : la catégorie orange se divise en trois sous-catégories plus raffinées afin de poursuivre l'analyse et connaître la hiérarchisation des items à l'intérieur de cette catégorie. Au niveau du rendu

graphique, on accentue le phénomène d'inhibition en jouant sur la transparence des intervalles grossiers (il deviennent plus pâle) et on se sert du phénomène d'activation en décalant les nouvelles catégories pour attirer l'œil de l'utilisateur sur cette nouvelle activation. On garde un lien entre la relation père-fils qu'il existe entre l'intervalle [100 000,500 000] et ses fils [100 000,300 000], [300 000,400 000], [400 000,500 000] en conservant la teinte de l'intervalle dans les mêmes couleurs (orange pour le père et différentes teintes d'orangé pour les fils).

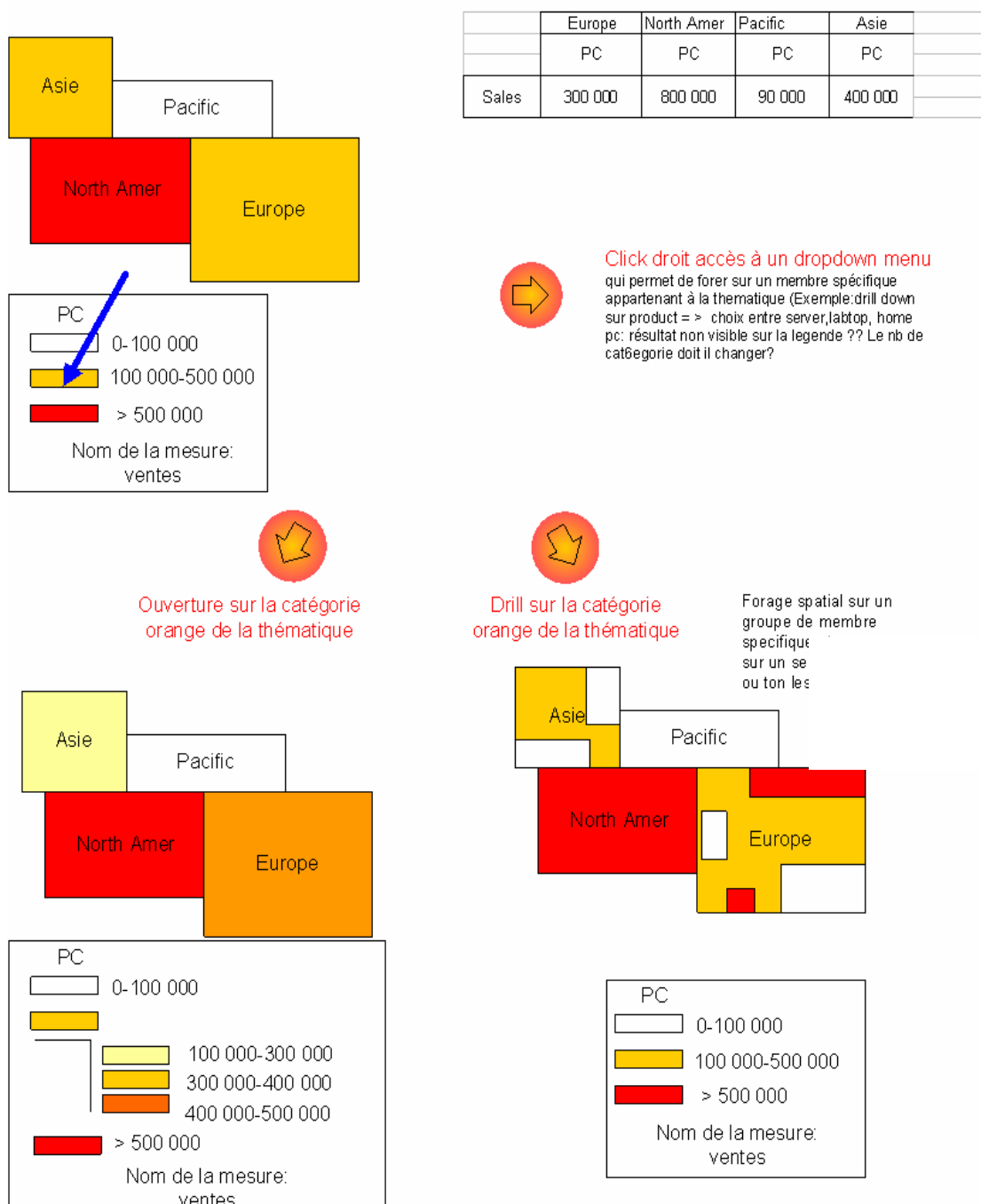


Figure 37 Résultat d'un forage sur la légende

### 2.3.4 Comment inclure une partie de la légende thématique dans l'arbre de navigation du SOLAP?

La légende pourrait également se délocaliser dans l'arbre de navigation. Elle serait donc incluse discrètement au niveau de chaque mesure. On peut voir un exemple de la forme que pourrait prendre cette légende dans la figure ci-dessous. D'un rapide coup d'œil, l'utilisateur peut voir que le taux d'asthme est représenté par un aplat de couleur dans les polygones représentant les régions alors que le taux de rhinite allergique est symbolisé par des cercles de diamètres variables. En cliquant sur le petit symbole à côté du nom de la mesure, on ouvre une légende plus détaillée. C'est une alternative aux légendes vues précédemment : une seule légende affichée à la fois mais un récapitulatif des variables visuelles utilisées pour toutes les mesures dans l'arbre de navigation. On évitera ainsi un encombrement trop important de l'écran en gardant quand même une vue minimale de l'ensemble des thématiques présentes sur la carte.

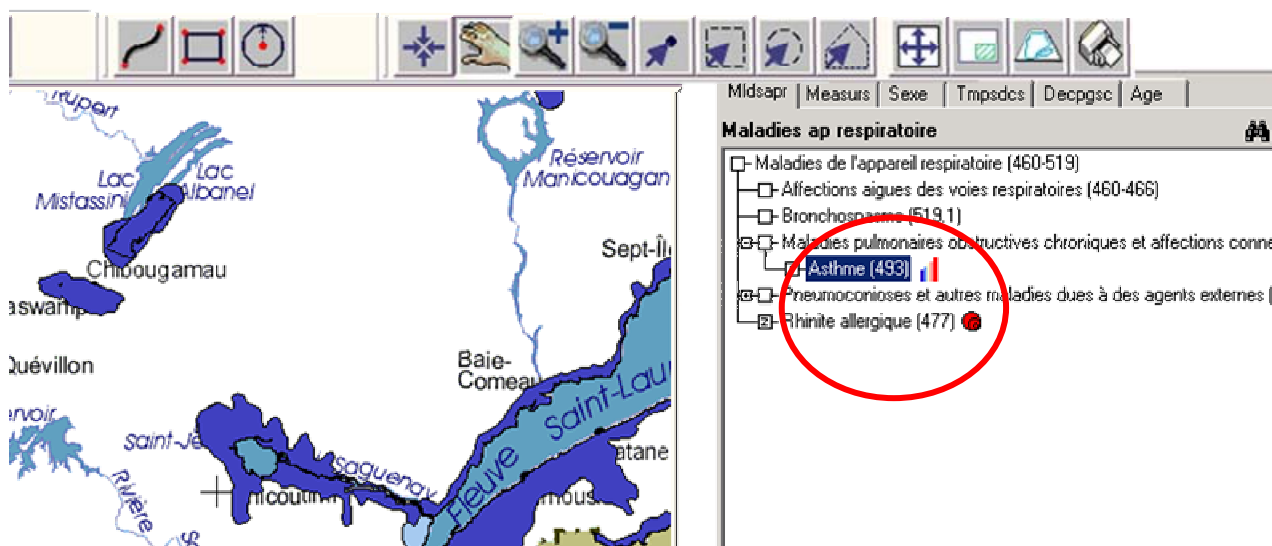


Figure 38 Partie de la légende délocalisée sur l'arbre de navigation

Ceci conclue avec les concepts théoriques du chapitre 2, avant d'aborder dans le prochain chapitre, la solution retenue ainsi que la présentation du prototype, il convient de faire une synthèse permettant de prendre un peu de recul par rapport à cette énumération de possibilités pour la légende interactive. On a vu que la légende pouvait revêtir plusieurs formes, En effet, elle peut apparaître sous les traits d'une seule fenêtre qui change d'apparence suivant le volet interrogé :



temporel, spatial ou thématique. Elle peut également se dupliquer en autant de fenêtre que l'on désire (une fenêtre pour chaque volet) ou encore elle peut s'intégrer dans un élément de l'interface comme l'arbre de navigation par exemple. Cette légende possède également différents types d'interactivité que sont la navigation (par exemple le déplacement du curseur le long de la glissière temporelle), les opérations de bases du SOLAP (comme le forage) ou encore l'apparition de « thumbnail » (par exemple quand on veut visionner une année mois par mois à l'aide de miniatures). Et enfin, la légende interactive prend quand même appui sur les bases d'une légende conventionnelle, en ce sens qu'elle permet d'expliquer la carte (ou la représentations) affichée et qu'elle est compréhensible sans aucune autre aide extérieure. Sur le plan théorique, on peut donc voir que le problème de la légende interactive est une interrogation bien plus large. En effet, il se généralise à l'interface à l'utilisateur en entier. On ne parle plus désormais d'une légende unique proposant tous les aspects cités dans ce chapitre mais de différents types de légende que l'on peut retrouver à plusieurs endroits de l'interface (fenêtres indépendantes ou parties d'écran). L'interactivité se retrouve à différents niveaux dans l'interface. La légende ne propose qu'un moyen parmi tant d'autre pour interagir avec le SOLAP. Elle ne saurait se suffire à elle-même et nécessite d'être intégré aux autres éléments comme l'arbre de navigation par exemple pour satisfaire pleinement l'interactivité et plus précisément la navigation du SOLAP.

Le diagramme de Venne que l'on peut voir sur la figure ci-dessous illustre les croisements nécessaires à l'élaboration de la légende. On s'appuie sur différents aspects du GUI pour la représenter et on l'agrément d'une panoplie d'éléments interactifs pour permettre à l'utilisateur de naviguer dans l'application. Le croisement entre l'arbre de navigation et les fenêtres indépendantes donne le GUI<sup>7</sup> (en orange sur la figure). La zone en bleue représente l'intersection de tous les aspects interactifs de la légende (la navigation, les opérations SOLAP...). Enfin quand on combine ces deux croisements avec la légende conventionnelle (« liste explicative de certaines conventions admises dans la rédaction d'un dessin, d'une carte, et

---

<sup>7</sup> Graphics User Interface

que l'on place ordinairement dans les marges »), on obtient la légende interactive du SOLAP.

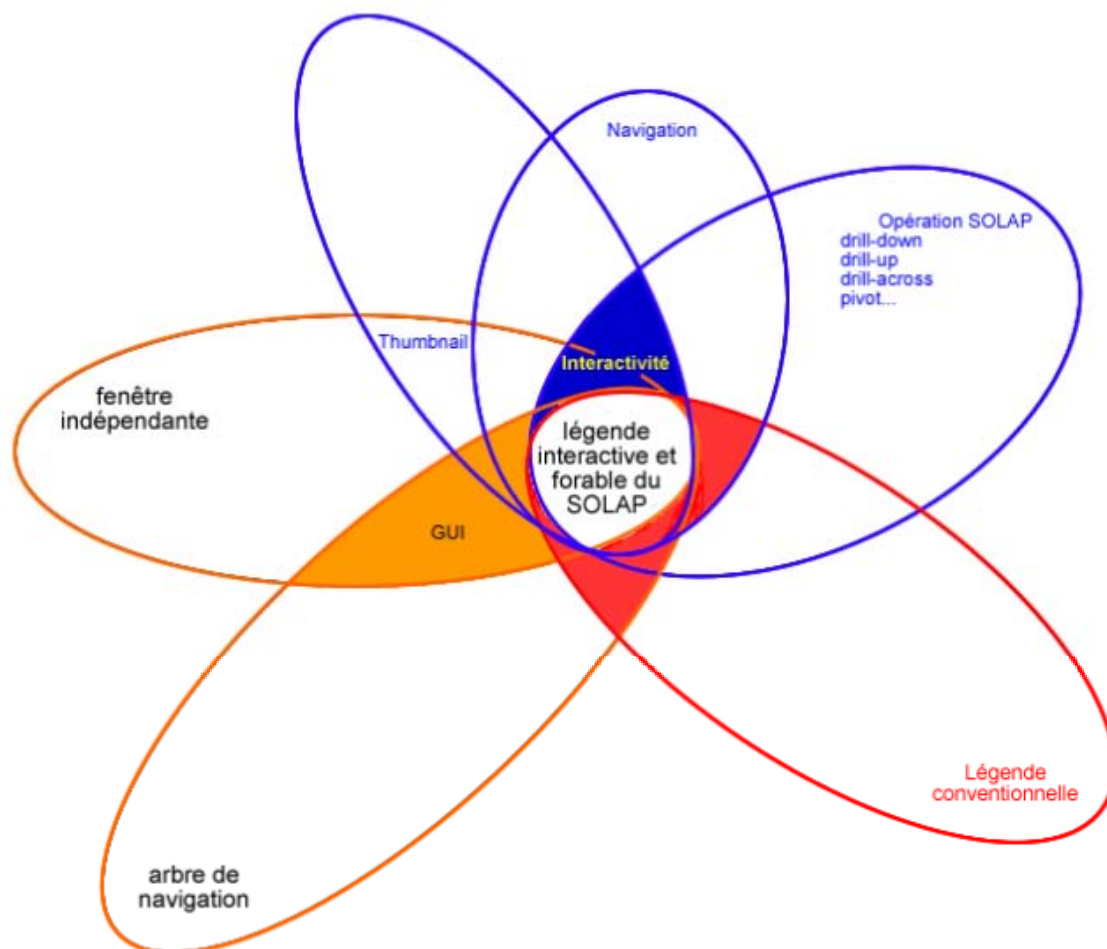


Figure 39 Diagramme de Venne de la légende Interactive et forable du SOLAP

## Chapitre III. La solution théorique retenue

Le chapitre 2 établissait un inventaire de ce qui pouvait faire partie d'une légende interactive. Le présent chapitre a pour objet de discuter la raison d'être de chacune de ces alternatives et **d'identifier les plus pertinentes pour le SOLAP et les plus réalisables dans le contexte de cette maîtrise**. On abordera les éléments qu'il est judicieux de retenir pour cette légende ainsi que la forme qu'ils prendront. Les justifications de ces choix seront exposées au fur et à mesure de leur énumération dans ce chapitre.

### 3.1 Les éléments retenus pour le côté spatial

Dans le chapitre précédent, plusieurs alternatives pour représenter la légende spatiale ont été mentionnées.

C'est le volet le moins riche au niveau SOLAP. Il est le plus proche des systèmes comme les SIG. En effet, la dimension spatiale est en fait la base, elle se compose des objets spatiaux où l'on représente le contenu sémantique, c'est-à-dire les différentes catégories de la thématique issue d'une classification sur la valeur d'une mesure (qui est un élément descriptif de la base de données : le taux de rejets de CO<sub>2</sub> par exemple). Dans une application SOLAP, « le volet spatial n'inclut pas que la référence spatiale, mais comprend aussi les dimensions possibles d'analyse spatiale » Pour l'analyse spatiale, on dispose de plusieurs axes de recherche, plusieurs critères (les dimensions) dont on peut faire varier la valeur (choisir différents membres) afin de « croiser » des parties de l'hypercube différentes.

Grâce à la dimension spatiale géoréférencée, on peut, d'une manière globale et en un seul coup d'œil, visualiser la valeur d'une mesure précise pour chaque entité cartographique (qui représente des membres différents de la dimension spatiale).

### 3.1.1 Comment visualiser et contrôler explicitement les niveaux ?

L'arbre de navigation conventionnel propose une classification des membres par niveau mais à aucun moment, il ne permet de voir sans ambiguïté le nom du niveau affiché sur la carte. Face à ce manque, on en vient donc à se demander comment donner accès et contrôler le niveau visualisé?

La légende spatiale peut être une manière de combler ce besoin en proposant une alternative à l'arbre de navigation. Elle devra permettre de visualiser explicitement les différents niveaux (ex : pour le découpage administratif, on aurait les pays, les régions, les départements et les villes).

Pour matérialiser cette hiérarchie de niveaux, la manière retenue est celle qui reprend la forme d'une légende conventionnelle comme la Figure 40 le montre. Par exemple dans le cas du découpage routier, certains membres pourront être au niveau des routes alors que d'autres seront descendus au niveau des tronçons suite à un forage sur une combinaison de membres spécifiques. La hiérarchie sera symbolisée par la variation du poids de la ligne pour chaque niveau comme le montre cette légende. On note que la légende donne une information sur les niveaux et non pas sur les membres.

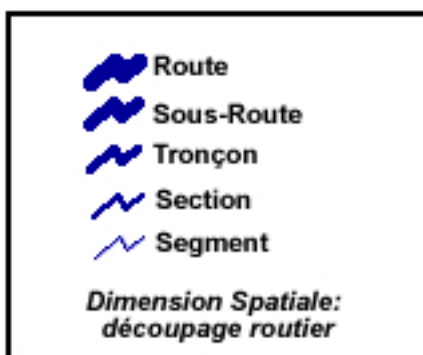


Figure 40 Légende spatiale conventionnelle

### 3.1.2 Comment peut-on visualiser plusieurs niveaux sur une même vue cartographique ?

Il est possible de visualiser les niveaux visibles sur la carte. Par exemple, dans le cas où chaque niveau est représenté par une couche polygonale, on peut choisir de voir le niveau des pays et de superposer certains départements. Par contre, si les couches sont linéaires, certains membres ne pourront être affichés en même temps comme les routes et les sections car elles se superposent exactement. La visualisation de plusieurs niveaux sur une même vue cartographique dépend du type de variable spatiale utilisée, du type de hiérarchie employée dans la dimension spatiale et du type d'opération faite. Dans le cas du réseau routier par exemple, si l'on effectue un forage sur une route précise alors deux niveaux seront affichés, les routes et les sous routes incluses dans la route forée. La Figure 41 illustre ce concept : initialement, tous les membres représentés sur la carte sont du niveau Route : A15, A20 et A70 (Figure 41 vignette du haut) puis l'utilisateur décide de forer sur A70 par deux fois pour visualiser le niveau Section (Figure 41 vignette du bas) et on voit apparaître sur la carte les sections allant de S1 à S5.

Sur la légende, les informations suivantes sont affichées :

- La thématique appliquée à chaque niveau
- Les niveaux présents sur la carte : route et section
- Le nom de la hiérarchie représentée : découpage routier
- Les couches de contextes : poste de police

On voit ici que la légende spatiale propose également les couches de contexte. Celles-ci peuvent proposer les cours d'eau, les usines, les édifices remarquables (églises, métro, mairie...) qui ne font pas partie de la base de données multidimensionnelle. Ces couches sont présentes sur la carte afin de faciliter la compréhension du contexte général des données, elles mettent la lumière sur des éléments extérieurs qui pourraient être en relation avec les valeurs des mesures (ex : l'emplacement des usines avec le taux de rejet en CO<sub>2</sub>). Il est important d'incorporer ces couches dans la légende pour attirer l'attention de l'utilisateur sur celles-ci mais il faut bien les différencier de la dimension spatiale afin de ne pas

commettre d'erreur d'analyse. On peut utiliser un type de police différent (en italique par exemple) pour les différencier. (voir Figure 41)

Si on s'intéresse plus en détail à la Figure 41, on peut voir la manière de gérer l'affichage de plusieurs niveaux sur la carte et dans la légende. Quand le niveau entier est affiché, la case est entièrement noircie tandis que si, seulement quelques membres sont représentés sur la carte, alors la case est simplement cochée. Dans le cas où une thématique est présente et que la couleur de la dimension spatiale est remplacée par une classification (en effet, on ne peut pas toujours présenter sur la carte les informations spatiales et thématiques), la case sera grisée.

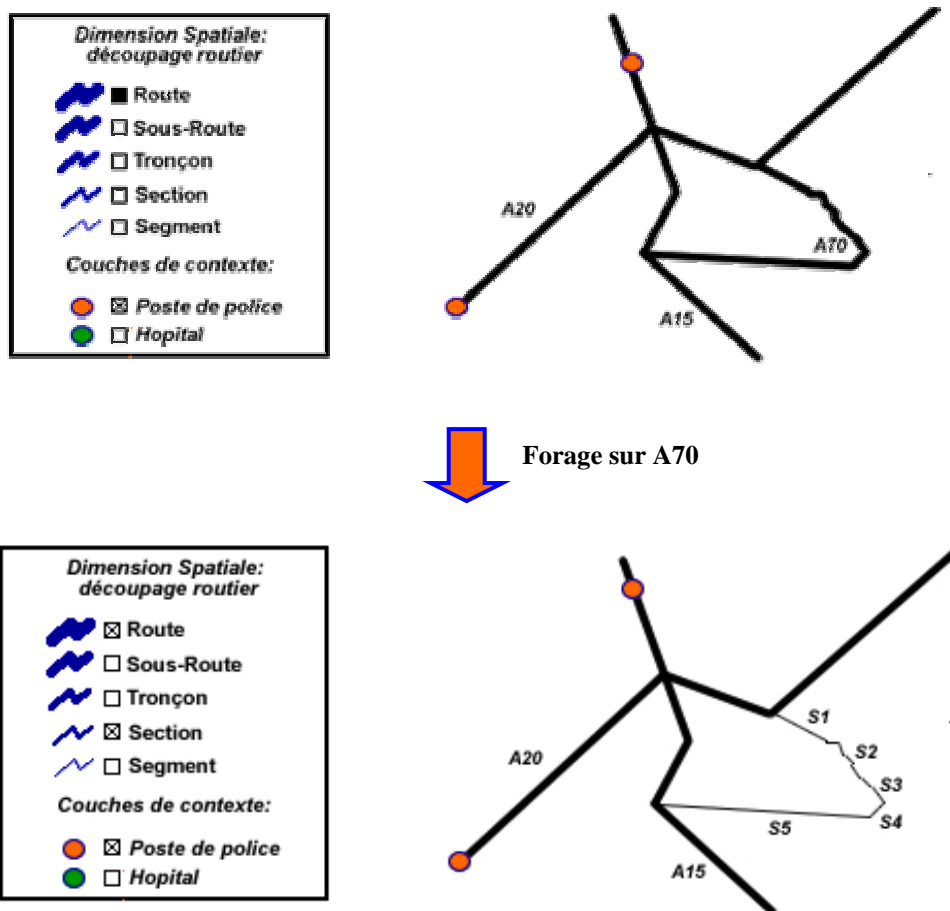


Figure 41 La légende dans le cas d'une primitive linéaire et d'un forage sur un membre particulier de la carte

Bien évidemment comme il s'agit de l'ossature sur laquelle s'applique la thématique, il est nécessaire d'utiliser des variables visuelles différentes pour représenter les niveaux de la dimension spatiale et la thématique faites à partir de la mesure sélectionnée. En effet, il existe plusieurs variables visuelles sur lesquelles on peut jouer (voir tableau suivant résumant les variables visuelles que l'on peut faire varier suivant le type d'éléments spatiaux représentés)






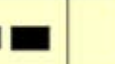

								
Variable visuelle	Entité spatiale	Taille	Valeur	Couleur	Orientatio n	Forme	Texture	Élévation / 3D
	Échelle de mesure							
<b>Ponctuel</b>	Nominale <sup>1</sup> ou catégorie non ordonnée	non	non	oui	oui	oui	oui	non
	Ordinale <sup>2</sup> ou catégorie ordonnée	Oui (discret)	Oui (discret)	délicat	non	non	non	Oui (discret)
	Quantitative <sup>3</sup> (ratios, intervalle)	Oui (discret ou continu*)	Oui (discret ou continu)	délicat	non	non	non	Oui (discret ou continu)
<b>Linéaire</b>	Nominale	non	non	Oui (discret)	non	Oui (discret)	Oui (discret)	non
	Ordinale	Oui (discret)	Oui (discret)	délicat	non	non	non	délicat
	Quantitative (ratio, intervalle)	Oui (discret ou continu)	Oui (discret ou continu)	délicat	non	non	non	délicat
<b>Surfacique</b>	Nominale	non	non	oui	non	non	oui	non
	Ordinale	non**	Oui (discret)	délicat	non	non	non	Oui (discret)
	Quantitative (ratio, intervalle)	non**	Oui (discret ou continu)	délicat	non	non	non	Oui (discret ou continu)

Tableau 2 Variables visuelles en fonction des primitives spatiales<sup>8</sup>

Bertin énonce que l'on ne peut jouer que sur trois de ces variables visuelles à la fois si l'on veut que l'utilisateur perçoive l'information en une seule image. Or, si on utilise l'une d'elles pour la représentation de la hiérarchie de la dimension spatiale (ex : poids de segment différente suivant le type de route), on ne pourra donc plus représenter que deux mesures sur la carte (au lieu de trois).

<sup>8</sup> L'échelle nominale est basée sur le caractère même de l'objet mesuré (ex: zone résidentielle, commerciale ou industrielle). Les valeurs sont des noms dont l'ordre n'a pas d'incidence sur la valeur des entités.

L'échelle ordinale tout comme l'échelle nominale est basée sur le caractère même de l'objet mesuré. Mais les valeurs qui peuvent également être des noms sont classées selon un ordre rigoureux correspondant à une progression dans la valeur prise par les entités (ex: 0-aride, 1-pauvre, 2-moyen, etc).

L'échelle quantitative donne une valeur numérique aux entités en utilisant une unité de mesure. On peut différencier l'échelle intervalle qui se réfère à un zéro arbitraire de l'échelle ratio qui se réfère à un zéro absolu favorisant la réalisation de toutes les opérations envisageables sur les valeurs prises par les entités.

### 3.1.3 Comment connaître les membres qui sont inclus dans chaque niveau ?

En adoptant une légende spatiale ne comportant que l’affichage des niveaux, on perd l’accès aux détails des membres. Cela peut être problématique si le nom du niveau n’est pas représentatif de ses membres. La légende pourrait donc posséder un « tool-tip » intelligent sur les niveaux. Au survol d’un niveau coché dans la légende, il apparaît un échantillon des noms des membres représentés sur la carte pour ce niveau (voir Figure 42).



Figure 42 Survol d'un niveau de la dimension spatiale

### 3.1.4 Comment la légende doit-elle réagir quand on dispose de plusieurs dimensions spatiales alternatives ?

En effet, certaines bases de données multidimensionnelles disposent de scénarii différents pour parcourir une même dimension. Par exemple on pourrait avoir au sein du même cube, une hiérarchie basée sur les délimitations administratives et une autre sur les polygones écologiques. L’arbre de navigation permet de passer de l’une à l’autre, mais il serait intéressant d’inclure cette fonctionnalité dans la légende. Elle pourrait prendre la forme par exemple d’un petit bouton en forme de flèche situé à coté du titre de la légende (voir figure ci-après). Quand l’utilisateur appuie dessus , une liste déroulante apparaît et propose le choix des alternatives de parcours pour cette dimension.



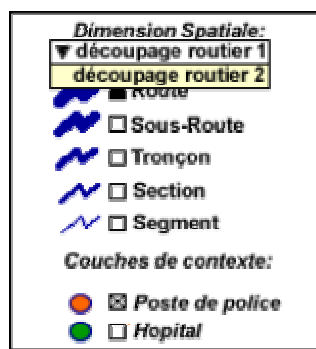


Figure 43 Choix des dimensions alternatives dans la légende

Les dimensions alternatives ne seront pas plus abordées dans cette maîtrise et ne seront pas matérialisées dans le prototype. Ce paragraphe est un aparté pour rappeler au lecteur que les dimensions alternatives n'ont pas été oubliées mais simplement évitées dans mon cadre de référence.

## 3.2 Les élément retenus pour le côté temporel

Plusieurs moyens de visualiser l'état de la dimension temporelle au sein de la légende ont été présentés dans le chapitre précédent. La légende ne représente pas une mesure mais l'état de sélection de la dimension du temps. La légende spatiale représente les différents niveaux de la dimension géographique, mais ce type de visualisation n'est pas adapté au cas temporel. En effet, dans la dimension cartographique on visualise sur la carte l'ensemble des membres d'un niveau (ex: toutes les régions socio-administratives de la province de Québec), cette fonctionnalité n'est pas possible dans le cas du temps sans apposer un petit diagramme statistique sur chaque polygone représentant la valeur pour chaque année. On voit donc au travers de ce parallèle, que la légende temporelle devra être traitée différemment de la légende spatiale

### 3.2.1 Comment permettre l'exploration temporelle au travers de la légende?

#### 3.2.1.1 Le curseur temporel

Le curseur temporel peut être un moyen de supporter la navigation temporelle. En effet, l'utilisateur est habitué à voir le temps comme « le glissement mécanique d'un curseur sur une ligne continue partagée en un nombre indéfini d'instant qui tous, indifféremment, peuvent servir de points de départ ou d'arrivée des durées

distinguées » . De ce constat, c'est cette glissière temporelle qui sera retenue dans le cadre de cette maîtrise car c'est un modèle qui a fait ses preuves dans les systèmes d'informations géographiques temporelles comme celui de Donna Peuquet et parce qu'il permet une navigation différente de celle proposée par un arbre.

Dès lors une question se soulève : **comment gérer l'interactivité liée au SOLAP dans ce type d'affichage ?** Dans le chapitre précédent, plusieurs alternatives ont été proposées :

1. Le forage peut se traduire par l'apparition en dessous du membre foré d'une visualisation séquentielle des membres du niveau plus fin. Cette représentation n'a pas été retenue car elle ne donne pas les mêmes possibilités de navigation pour les différents niveaux. En effet, on ne dispose plus de la possibilité d'afficher plusieurs mois (comme c'était le cas pour les années). D'autre part, on perd la vue d'ensemble sur le niveau, on ne visualise qu'un membre à la fois (en l'occurrence dans cet exemple le mois), c'est donc moins intéressant pour la navigation.

2. L'apparition d'une seconde "time-line" horizontale se situant en dessous de la première peut être le résultat de l'action de forage demandée par l'utilisateur. C'est la solution retenue car ainsi, on retranscrit l'ordre de la hiérarchie de manière visuelle. Les deux curseurs temporels seront représentés dans deux fenêtres différentes l'une en dessous de l'autre, ainsi l'utilisateur peut par la suite choisir d'éteindre un niveau pour alléger l'interface une fois qu'il est arrivé au niveau de granularité qui l'intéresse. Il aura quand même accès à un affichage résumant l'état de sa progression (par exemple : année :2000 mois : Février jour :25) et il peut à tout moment réafficher la légende du niveau supérieur.

3. La glissière temporelle pourra aussi changer de granularité, c'est un forage global (voir Figure 17). Ce mode de représentation est une fonctionnalité supplémentaire qui apporte une autre manière de forer donc une source d'analyse supplémentaire pour l'utilisateur.

4. L'utilisateur pourra également afficher un aperçu (« thumbnail ») d'un membre quand il a été foré dans le niveau inférieur (voir Figure 18). Cette visualisation permet de détecter les césures dans l'évolution d'un phénomène et ainsi, identifier le membre qui comporte de l'intérêt.

5. Le curseur pourra également se dédoubler afin de permettre de visualiser des combinaisons de membres ou des périodes (voir Figure 19 et Figure 20).

### **3.2.1.2 La représentation par cycle**

En ce qui concerne la représentation par cycle, elle n'a pas été retenue car elle demandait trop d'ajustements particuliers pour chaque niveau du temps. En effet, le mouvement spécifique des cycles n'est pas un patron qui peut s'appliquer à tous les niveaux de la dimension du temps. Il s'applique aux niveaux comme les mois, les jours, les heures... mais quand vient le temps de représenter le niveau des années, il n'y a plus de cycle évident. De plus, il existe une multitude de cycles possibles en fonction des données qui sont représentées : des cycles économiques, écologiques... Une représentation efficace devrait donc pouvoir s'adapter à toutes ces alternatives. Elle devrait donc être entièrement paramétrable tant sur le pas que sur la révolution, et ceci pour chaque niveau. C'est une configuration qui est trop lourde pour être faite par l'utilisateur. Le SOLAP doit être rapide, instinctif et utilisable par des personnes qui ne possèdent pas une formation technique poussée. Si on voulait rendre paramétrable le cycle, il faudrait pouvoir configurer chaque cube de données disponible. Il serait donc nécessaire de développer un module d'administration qui permettrait de configurer les cubes et ses propriétés dans chaque cas par une personne experte dans le logiciel comme le DBA (« data base administrator »).

### **3.2.1.3 Le calendrier**

Le calendrier est un autre mode de visualisation qui a été énoncé dans le chapitre précédent et qui sera retenu (voir Figure 25). Il est vraiment spécifique à un type de classification des données : années, mois, jours. Il est intéressant car c'est un outil que l'être humain manipule très bien. On organise notre vie en fonction de ce découpage. Partant de cette constatation et malgré le fait qu'il n'est pas un outil universel et adapté à tous les jeux de données, il représente une fonctionnalité intéressante au niveau temporel.

On partira donc du postulat suivant : les données du cube sont découpées en années, mois, semaines, jours. Dans le cas contraire, l'outil ne sera pas proposé. Si le jeu de données comporte des « trous » i.e. des discontinuités dans son échantillonnage, on utilisera les règles suivantes : s'il manque des années ou des mois, ils ne seront pas proposés lors de la navigation (on passera de 2000 à 2002 si l'année 2001 n'est pas disponible). Dans le cas où certains jours sont indisponibles, ils seront grisés dans le calendrier.

### **3.2.1.4 Le lecteur multimédia**

Le lecteur multimédia sera un type de légende interactive retenu. Il permet de lancer une animation, et ainsi, voir défiler un enchaînement de membres (voir Figure 26). C'est un outil qui est plus centré sur l'aspect interactif que légende. Il sert de télécommande pour naviguer dans la dimension temporelle. On peut néanmoins considérer qu'il constitue une légende, du fait qu'il propose à tout moment l'état de la dimension temporelle et le type de navigation effectuée

## **3.3 Les élément retenus pour le côté thématique**

Le côté thématique pourrait être traité comme celui temporel en proposant une navigation dans les membres de chaque dimension mais cela deviendrait vite ingérable du fait qu'il peut y avoir beaucoup de dimensions différentes dans un même cube. L'arbre de navigation est encore la meilleure représentation possible pour permettre l'exploration des dimensions. Il était intéressant de proposer des outils de navigations différents dans le cas du temps et de la dimension spatiale

car ce sont deux éléments qui méritent de se dissocier des autres et qui nécessitent une plus grande attention.

On en vient donc à se demander que doit proposer une légende thématique ? Pour répondre à cette interrogation, il faut s'intéresser aux éléments à afficher sur la carte : la dimension spatiale (le réseau routier par exemple) et la thématique qui s'applique dessus (comme le nombre d'accidents). C'est précisément cette thématique qui doit être représentée dans la légende. Or, elle n'est autre que la représentation spatiale de l'état d'une mesure pour chaque membre de la dimension cartographique.

On doit donc représenter **les mesures dans la légende thématique**. Dans le chapitre précédent, on a pu voir trois différents types de légendes :

L'outil permettant de passer d'une mesure à une autre à l'aide d'un curseur (voir Figure 33) ne sera pas retenu. En effet, étant donné que les mesures ne possèdent jamais de hiérarchie et que généralement elles sont en petit nombre, ce mode de visualisation n'apporterait rien de plus que l'arbre de navigation déjà présent. Il alourdirait l'interface, surchargerait l'écran sans produire un moyen d'analyse supplémentaire.

Les deux autres outils abordés au chapitre précédent seront retenus : le curseur permettant d'isoler et d'afficher sur la carte des valeurs de mesures particulières et la légende conventionnelle.

### **3.3.1 Comment représenter les mesures dans la légende thématique?**

#### **3.3.1.1 La glissière thématique ou comment circonscrire la zone cible d'étude**

En ce qui concerne la glissière thématique, l'utilisateur n'aura pas la possibilité de modifier les bornes intérieures de la classification. En effet, celles-ci ont été déterminées par un administrateur et doivent rester fixes. On permettra quand même de jouer sur les bornes inférieures et supérieures de la classification pour scléroser un domaine particulier. L'un des problèmes qui peut survenir est dans le

cas où l'on désire afficher plusieurs mesures sur la carte, comment le curseur doit-il réagir ? On choisira de dédoubler la glissière autant de fois qu'il y a de mesures à afficher. Chaque glissière sera dans une fenêtre différente afin que l'on puisse à tout moment fermer les légendes qui ne servent pas à l'analyse.

Cet outil sera utilisé dans des types d'analyses spécifiques où l'échantillonnage des valeurs de la mesure est très étendu. L'utilisateur ne peut donc pas avoir une vision globale du phénomène représenté sur la carte. Pour isoler les problèmes, les valeurs pertinentes, l'utilisateur pourra grâce à cet outil, réduire l'intervalle visualisé.

### **3.3.1.2 La légende thématique conventionnelle**

#### ***3.3.1.2.1 Un outil d'analyse connu des usagers***

La légende thématique prendra une forme conventionnelle dans la majeure partie du temps. On peut voir ce type de légende sur la Figure 34. Le choix d'une telle légende a été fait avant tout pour son côté intuitif pour l'utilisateur. Tout le monde a déjà manipulé une légende de ce type pour analyser une carte (papier ou numérique). Il n'y a donc pas d'apprentissage supplémentaire pour l'utilisateur.

#### ***3.3.1.2.2 Un outil interactif***

On retrouve l'interactivité à plusieurs niveaux :

- Possibilité de raffiner une catégorie en particulier d'un simple clic (voir Figure 37)
- Visualisation rapide de la carte sous différents indicateurs (« equal count », « equal range » ou « standard deviation »). Ils peuvent être interchangeables pour montrer différents aspects du phénomène.

#### ***3.3.1.2.3 Un outil adaptable à l'affichage de plusieurs mesures***

Lors de l'affichage de plusieurs mesures on optera pour une représentation dissociée (voir Figure 36 représentation 3). On pourra ainsi représenter jusqu'à trois mesures simultanément sur une seule carte. C'est le maximum que les règles d'affichage autorisent pour être cognitivement compréhensibles.

### 3.4 Ce qui ne fait pas partie de la légende, les contre-exemples et les biais à éviter

Durant cette maîtrise, on s'est intéressé à certains outils qui apparaissaient à première vue dignes d'intérêt pour la légende et son interactivité. Mais après une étude approfondie, ils se sont avérés ne pas faire partie de la légende. Ils sont présentés succinctement dans ce paragraphe. En effet, bien qu'ils ne rentrent pas dans le champ d'étude de cette maîtrise, ils peuvent se révéler être d'une certaine utilité dans le SOLAP.

#### 3.4.1 La glissière pour classer les années selon une mesure particulière

On pourrait par exemple adapter l'idée du curseur pour proposer des enchaînements non pas chronologiques comme on le fait actuellement pour la dimension du temps, mais des enchaînements déterminés par un autre classement. Par exemple, les années pourraient être ordonnées en fonction de la valeur d'une mesure. Ainsi, si celle-ci représente le nombre de décès, on pourrait juger d'une manière spatiale quelles sont les années qui ont été les plus meurtrières. Il est parfois difficile d'établir un classement quand on ne dispose que de valeurs numériques par contre quand on aligne ces valeurs sur un axe, l'analyse est automatique. C'est le principe des graphiques mathématiques (à un, deux ou trois axes).



Figure 44 Classification des années selon une mesure

Dans la figure ci-dessus les années sont classées en fonction du taux de rejet en CO<sub>2</sub> total pour chaque année, on peut ainsi déplacer le curseur et voir au fur et à mesure évoluer la carte. Cet outil ne peut être catalogué de légende interactive du

fait qu'il apporte une information supplémentaire (l'ordre de classement), c'est en fait une fenêtre de visualisation à part entière comme peut l'être la carte ou un tableau. Il faudrait une légende supplémentaire pour expliciter cette visualisation, ce n'est donc pas une légende. En effet, celle-ci doit se comprendre sans avoir besoin d'explication supplémentaire.

### **3.4.2 L'information sur l'entité à son survol**

Lors de la recherche d'avenue de solution pour la légende, certains objets interactifs sont apparus comme le « mouse-over » au dessus d'une région de la carte. Celui-ci contient une information qui ne décrit non pas une couche en entier (ou un niveau) mais une entité seulement (celle que l'on survole). Effectivement, il renseigne sur l'état de l'objet survolé mais il a été convenu que son caractère ponctuel et non permanent ne lui permette pas de le ranger dans la catégorie des légendes. Néanmoins, c'est un très bon outil pour renseigner l'utilisateur sur ce qui est représenté sur la carte ou dans un graphique quand l'espace manque (polygone ou pointe de tarte trop petite pour afficher une étiquette par exemple).

### **3.4.3 La loupe de forage**

Au tout début de cette maîtrise, quand le cadre de recherche était encore embryonnaire, des idées d'interactivité ont été abordées. Elles étaient des alternatives à la légende interactive. Une de ces alternatives concerne le forage. En effet, un exemple d'opérations SOLAP « intelligentes » est sans aucun doute la loupe de forage. C'est en quelque sorte un forage dynamique sur les éléments cartographiques. La figure suivante apporte quelques explications sur le fonctionnement de cette loupe : On la déplace sur un polygone et ainsi on visualise un niveau de représentation plus fin. Ceci s'effectue de manière dynamique et volontaire (c'est l'utilisateur qui déplace la loupe sur le polygone qui l'intéresse). Ainsi on fore en gardant le lien cognitif avec le niveau père, de plus haute agrégation. La figure ci-dessous propose deux types de représentations possibles pour cette



loupe. Dans le cas du haut, la visualisation du niveau inférieur se fait dans une fenêtre à côté de la carte tandis que dans la représentation du bas, on visualise le forage à l'intérieur même de la loupe.

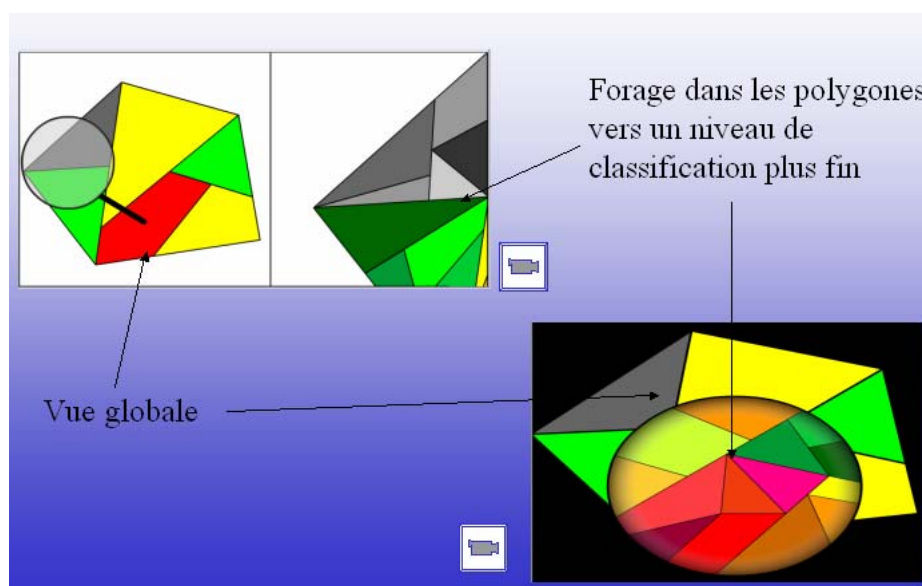


Figure 45 Forage sur un élément géométrique à l'aide d'une loupe

### 3.4.4 L'animation visuelle comme les clignotements

Une animation empruntée à la cartographie dynamique qui peut être également pertinente est l'utilisation de symboles ou de couleurs qui s'animent (qui clignotent par exemple). Ainsi, quand on survole une catégorie de la légende (ex : la tranche de 0 à 10 accidents) alors sur la carte, tous les items appartenant à cette catégorie se mettent à clignoter ou encore tous ceux qui n'y appartiennent pas deviennent un peu plus transparents (on joue sur l'« alpha » de la couleur). D'un point de vue cognitif c'est très pertinent car dans un cas on joue sur le phénomène d'activation (les items qui clignotent attire l'attention de l'utilisateur) tandis que dans l'autre cas, on utilise l'inhibition (les items n'appartenant pas à la catégorie sélectionnée deviennent moins visibles). Évidemment, cette animation comporte certains désavantages, l'usager n'est pas habitué à voir une carte clignoter. Cela peut avoir un effet déstabilisant donc inintéressant pour le SOLAP. En effet, on recherche avant tout la fluidité dans l'analyse et la facilité d'utilisation. De plus, ce type d'animation ne paraît pas « professionnel » car il est inusité et encore mal exploité.

### 3.4.5 La manière de tirer profit du biais cognitif de confirmation

Le biais de confirmation consiste à fonder son jugement seulement sur les relations de type : présence d'un événement A entraîne la présence d'un événement B ( $A \rightarrow B$ ) sans tenir compte des autres relations que l'on appelle : faux négatif ( $\text{non } A \rightarrow B$ ), faux positif ( $A \rightarrow \text{non } B$ ) et validité inversée ( $\text{non } A \rightarrow \text{non } B$ ).

Cette notion de validité de la présence d'un événement est directement applicable au contexte du SOLAP. La manière de présenter l'information va influencer sur son interprétation par l'utilisateur. On peut voir l'illustration de ce biais dans la figure suivante. Ainsi pour chaque école, nous sommes capables de voir le pourcentage (la mesure) d'étudiants apprenant l'anglais, le français, l'espagnol ou l'italien. La disposition des barres des histogrammes ne nous permet pas de souligner l'absence de l'italien dans trois des écoles de la carte. Il aurait été intéressant de laisser la place de l'italien sur les histogrammes afin de souligner le manque comme on peut le voir dans la représentation en bas à gauche de cette figure .

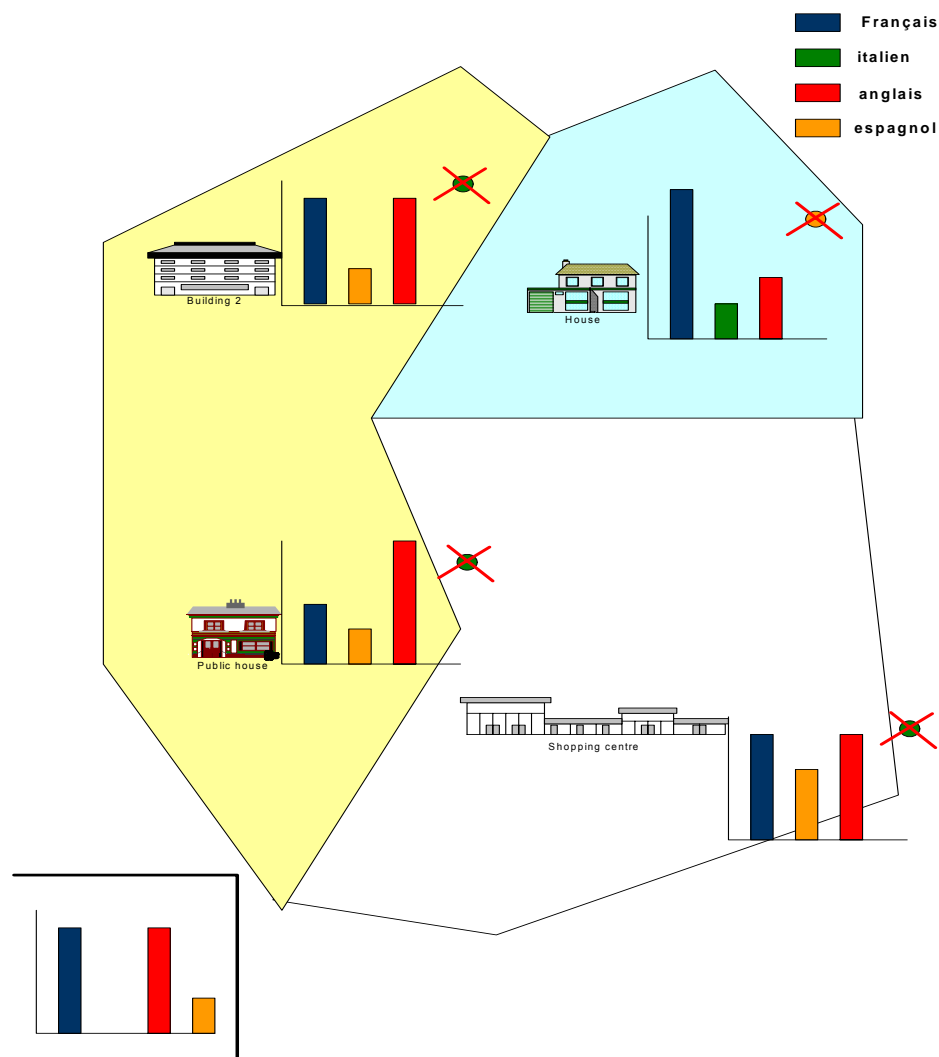


Figure 46 La "non-présence" des éléments -biais de confirmation-

En sachant que ce biais existe, il apparaît intéressant de développer d'autres types de diagrammes (tartes, lignes brisées ou histogrammes) qui suppriment l'influence de cette erreur. Ainsi, on choisira de représenter la « non-présence » de certains facteurs en comparaison avec un modèle standard. Dans le cas de la figure ci-dessus, le standard serait l'étude des quatre langues et on représenterait l'absence d'une langue dans une école par un cercle barré par exemple de la couleur du langage manquant. C'est un moyen, parmi tant d'autres, de souligner l'absence d'un élément qui devrait être présent. Ainsi, on force l'utilisateur à s'intéresser aux éléments manquant. En visualisant l'absence, l'utilisateur est capable de corréliser ce flux d'information avec les autres.

### 3.4.6 Pourquoi une légende ne peut-elle remplacer un outil de navigation comme un arbre ?

L'une des premiers problèmes qui se posent est comment proposer à l'utilisateur l'ensemble des possibilités de navigations et de visualisations utilisables dans l'espace réduit qu'est un écran d'ordinateur? On a tendance à penser que si on réorganisait une visualisation de base comme l'est la légende et qu'on lui ajoutait toute l'interactivité nécessaire, on réduirait ainsi l'espace utilisé de l'écran et on augmenterait, de ce fait, l'utilisabilité. Mais est-ce qu'une légende interactive et forable pourrait suffire à la navigation dans le SOLAP, et ceci en restant une légende ?

Le premier outil que la légende devrait essayer de remplacer (ou du moins de compléter) est l'arbre de navigation du SOLAP. En effet, la vision de cet arbre (présent dans les clients OLAP comme *Proclarity*) est un peu complexe pour un utilisateur néophyte. Comme on peut le voir dans la Figure 48, chaque dimension est dans un arbre différent auquel on accède à l'aide des onglets. On ne peut donc visualiser qu'une dimension après l'autre. Il n'y a aucune vision globale de l'ensemble de ces dimensions. Or, cette vision globale est importante car elle permet à l'utilisateur de faire la synthèse de l'ensemble des critères sélectionnés (les membres des différentes dimensions) pour la formulation de sa question (la requête) à la base de données multidimensionnelle. Les utilisateurs du prototype SOLAP ICEM/SE ont réagi positivement à une autre sorte d'arborescence n'utilisant pas les onglets. Celle-ci proposait une vue globale de toutes les dimensions au sein d'un même panneau (voir Figure 49 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette représentation n'était valable que dans le cas de ce projet où le nombre de dimensions, de niveaux et de membres était réduit. Mais il a attiré l'attention sur le fait qu'il devait y avoir des représentations plus intuitives que le choix des onglets. En effet, l'utilisateur a l'habitude de voir les onglets comme des choix alternatifs et non pas complémentaires; quand il navigue d'onglet en onglet, il s'attend à perdre la sélection qui s'est faite dans l'onglet précédent, or ce n'est pas le cas dans une application SOLAP. Chaque onglet représente une dimension et

c'est l'ensemble des sélections faites sur ces dimensions qui élabore la requête à formuler.

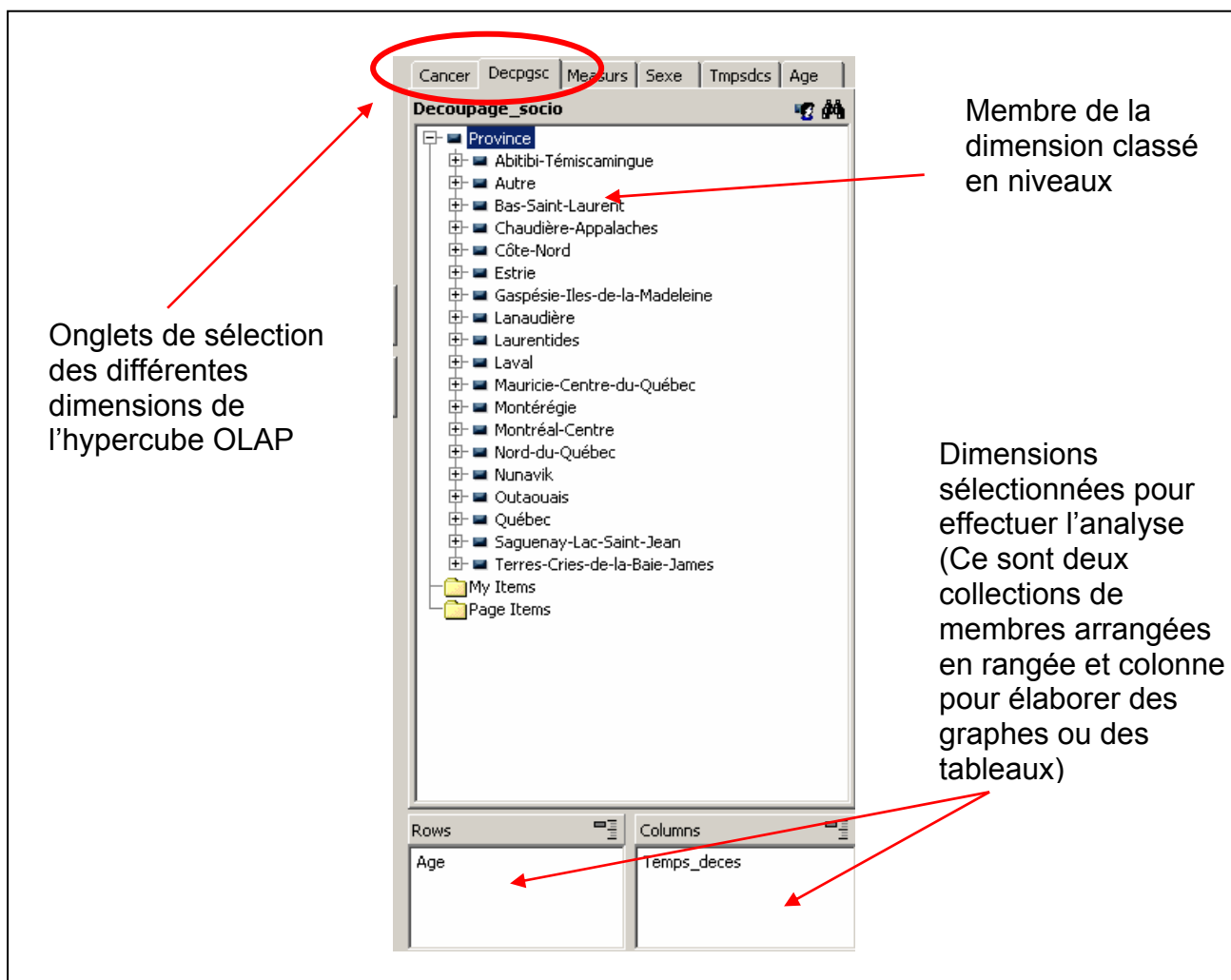


Figure 47 Arbre de navigation à onglet de l'application client OLAP: Proclarity

Face à ce biais cognitif, il est intéressant de se demander quelles sont les alternatives pour y palier. Un scénario possible est de disposer les dimensions de l'hypercube d'une manière plus intuitive pour l'utilisateur: l'une en-dessous de l'autre comme on peut le voir dans la Figure 49 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** C'est également ce qui est fait dans les Systèmes d'Informations Géographiques. Ceux-ci comportent une barre des couches servant d'affichage pour la légende et permettant une certaine interactivité avec l'utilisateur : en effet, il est possible de changer une charte de couleur, de modifier la classification servant à l'affichage d'une thématique, de jouer sur la visibilité et sur l'ordre des couches de la carte...

Au point de vue cognitif, cette disposition n'est pas parfaite car elle induit une sorte de classification entre les dimensions (de par leur empilement).

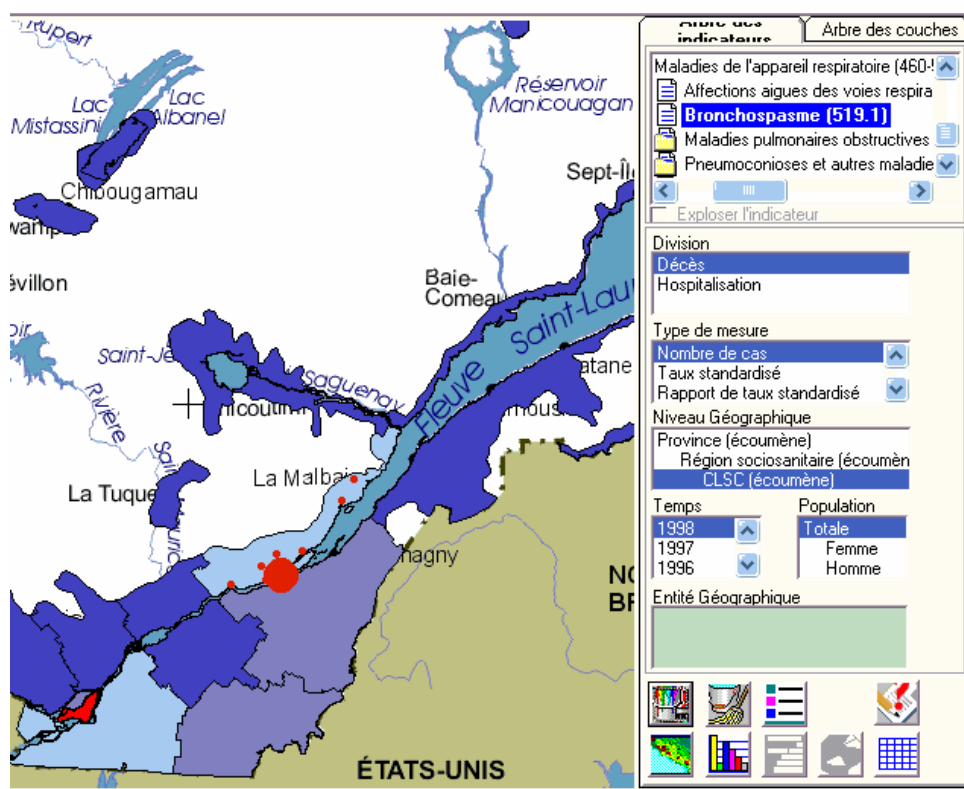


Figure 48 Arbres de navigation du prototype ICEM/SE

On peut voir dans l'illustration de la Figure 50 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, que seule une définition succincte de la dimension est affichée. L'arbre de sélection n'est plus présent. Cette représentation peut se rapprocher de la définition d'une légende dans le sens qu'elle représente un état et qu'elle explique les différents items affichés comme la carte par exemple. En effet, connaître l'ensemble des critères qui conduisent à une thématique affichée dans une carte est un moyen de l'expliquer donc représente en quelque sorte une légende. Mais cette représentation des dimensions possède ses limites lorsque l'on sélectionne plusieurs membres dans une même dimension. En effet, la définition succincte du membre sélectionné doit être adaptée : on ne peut pas énumérer tous les membres que l'on a sélectionnés. Il convient donc d'employer un terme générique comme « multiselect » afin de montrer qu'il existe une multi-

sélection sur cette dimension. Dans ce cas, cette représentation perd de son intérêt.

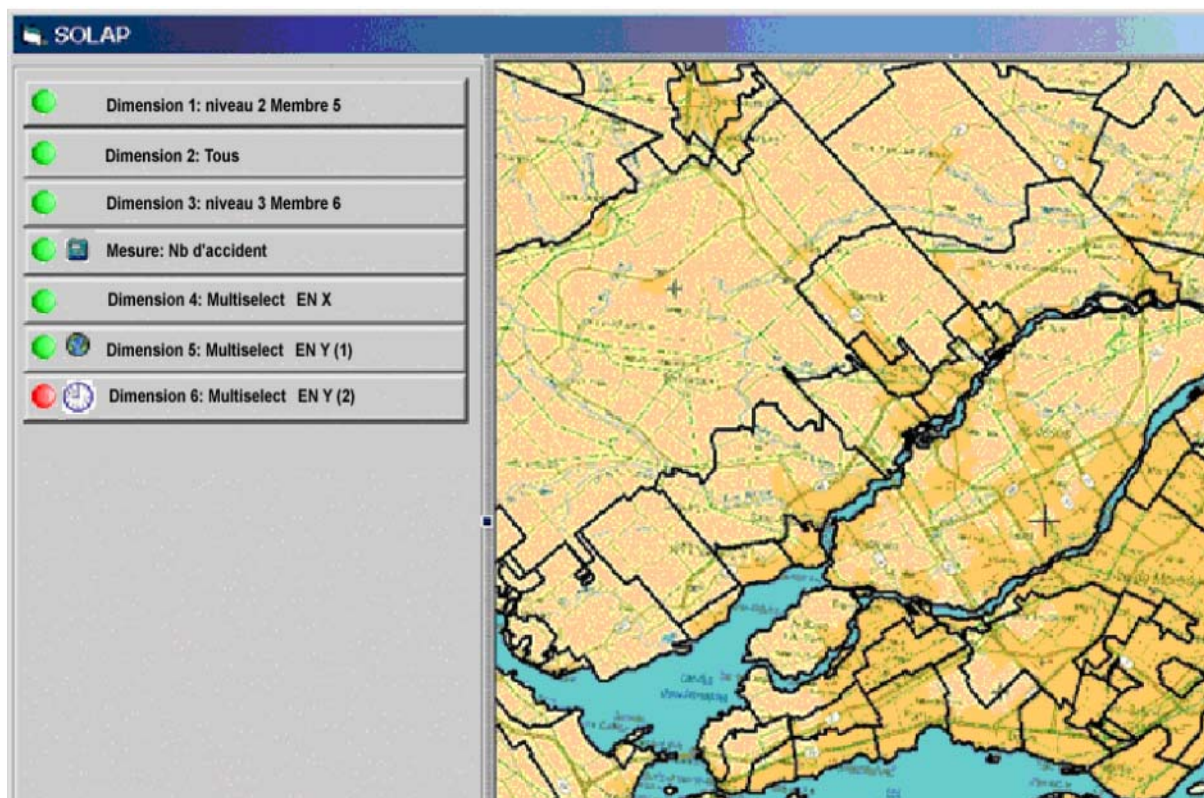


Figure 49 Les dimensions représentées comme des couches SIG (illustration non fonctionnelle)

L'arbre de navigation avec onglet ne dispose pas d'une vue globale des sélections faites dans les dimensions. En effet, il est important d'accéder rapidement aux dimensions clés de l'hypercube comme les dimension spatiale, temporelle et les mesures. Afin de satisfaire cette exigence, il est possible d'inclure un petit icône sur chaque bouton/onglet représentant une dimension comme il est représenté sur la figure ci-dessus.

Au cours d'une analyse avec le SOLAP, il existe certains moments où les sélections dans les arbres de navigation ne sont pas synchronisées avec les vues cartographiques, tabulaires ou graphiques. Prenons un exemple simple, l'utilisateur visualisait une carte illustrant la propagation d'un virus pour l'année 1999. Il désire

maintenant visualiser l'année 2000 au lieu de 1999. Il doit donc changer sa sélection dans l'arbre de la dimension temporelle. Il sélectionne donc 2000 au lieu de 1999. A ce moment précis, l'arbre n'est pas synchronisé avec la vue cartographique et cela jusqu'à ce que l'utilisateur ne valide sa sélection en appuyant sur le bouton « exécuter ». En effet, l'arbre montre 2000 alors que la carte représente 1999. Pour palier à ce problème, une solution serait de proposer un indicateur de synchronisation à côté du nom de la dimension comme on peut le voir sur la Figure 50 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Les pastilles vertes en face de chaque dimension donnent l'état de synchronisation de chaque dimension par rapport au dernier lancement de requête. Ainsi, si on a changé les sélections dans une dimension, la pastille qui était verte vire au rouge pour mettre l'accent sur le fait que la vue peut ne pas refléter ce qui est affiché dans la nouvelle sélection. Cette donnée supplémentaire permet d'éviter que l'utilisateur effectue une analyse erronée en mettant en corrélation des phénomènes qui ne sont pas liés.

Bien évidemment, cette interface n'est pas complète, il manque un procédé qui permet d'effectuer la sélection des membres des différents niveaux des dimensions. L'arborescence de Proclarity (Figure 48 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) permet cette sélection mais il est toujours visible. Et ceci, même si l'utilisateur ne l'utilise pas pour son analyse. L'utilisabilité de l'écran en est donc réduite. Si on reprend la visualisation des dimensions de la Figure 50 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, plusieurs procédés sont possibles pour accéder à l'arborescence:

On peut donner la vision d'un arbre à la fois comme le montre la figure suivante : on clique sur une dimension et la case s'agrandit pour laisser apparaître son arbre de navigation. Mais là encore on perd la vision globale, ce qui n'est pas satisfaisant.



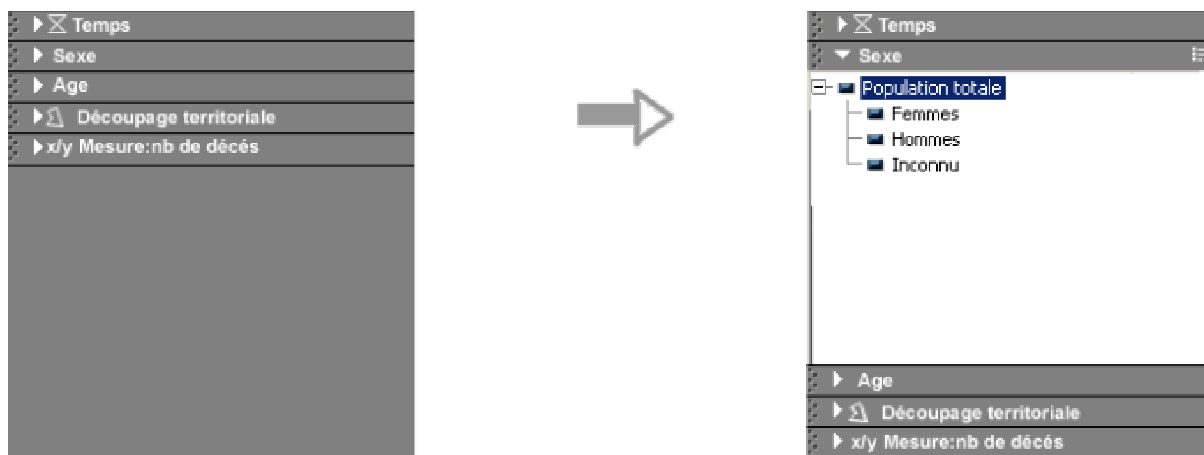


Figure 50 Alternative au concept des onglets pour le choix des dimensions

On peut choisir d'afficher une nouvelle fenêtre qui donnerait la vision de tous les arbres de toutes les dimensions, afin de proposer la vision globale que l'on recherche. Cette fenêtre sémantique est réalisable pour les cubes comportant peu de dimensions et peu de membres. Mais elle devient vite incompréhensible pour les cubes trop complexes. En effet, dans ce cas, la surface utile de l'écran n'est pas suffisante. On ne peut avoir une vision globale d'un seul coup d'œil.

On voit donc ici une limite de l'hypothèse de départ qui voulait que la légende puisse remplacer l'arbre de navigation. Dans une représentation comme on vient de voir, certes, on propose une « sorte de légende » à l'utilisateur pour sa vision de départ. Mais dès qu'il s'agit de sélectionner les membres de chaque dimension et de les visualiser dans le détail, nous sommes obligés de rajouter à la légende une part d'interactivité (comme un bouton par exemple) qui permet d'afficher les arbres de sélection.

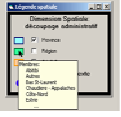











La légende ne peut donc pas remplacer cette partie de l'interface (et vice-versa) : les arbres de navigation sont essentiels. Donc, la légende ne peut rencontrer totalement les objectifs d'interactivité nécessaires.

Pour conclure avec ce thème, on peut dire qu'en règle générale, la légende doit être proposée comme **alternative à l'arbre de sélection des dimensions** mais ne peut l'évincer. Ce sont deux outils complémentaires qu'il est essentiel de

conserver. Un phénomène qui n'était pas évident à détecter lorsqu'on a utilisé l'arbre peut devenir évident quand on l'analyse à l'aide de la légende interactive. De plus, chaque usager possède ses propres préférences pour interroger les données, certains seront plus efficaces avec une légende en couleur alors que d'autres seront à l'aise avec la classification par arbre.

On discerne désormais les limites de la légende mais également son importance dans l'analyse des données d'un hypercube. Dans le prochain point, les éléments retenus pour les différents aspects de cette légende seront justifiés. Mais le lecteur devra garder à l'esprit la portée restreinte de la légende : elle ne se suffit pas à elle-même pour la navigation dans un SOLAP.

### 3.5 Tableau 3 de synthèse des éléments retenus

Aperçu	Outils	Fonctionnalité	retenu	implanté	simulé
	Légende spatiale conventionnelle	Visualisation des niveaux	x	x	
		Contrôle de la visibilité	x	x	
		Couche de contexte	x	x	
		Survol	x		x
		Choix des dimensions alternatives	x		
	Glissière temporelle	Navigation de membre en membre	x	x	
		Forage global	x		x
		Forage sur un membre	x	x	
		Sélection de membre disjoint	x	x	
		Sélection de période	x	x	
	« Thumbnail »	x		x	
	Cycle				
	Calendrier	Titre résumant le membre visualisé	x		x
		Forage latéral sur les années	x	x	
		Forage latéral sur les mois	x	x	
		Vue de la semaine, de jours distincts...	x		x
	Lecteur multimédia	Lecture/pause	x	x	
		Lecture séquentielle pas à pas	x	x	
		Mode cyclique	x	x	
		Mode aléatoire	x	x	
		Liste de lecture	x		x
	Glissière thématique	Réduction de l'intervalle visualisé	x	x	
		Sélection de catégorie disjointe	x		
		Affichage de plusieurs mesures	x		
	Légende conventionnelle thématique	Raffinage d'une catégorie	x	x	
		Indicateur interchangeable	x	x	
		Visualisation de plusieurs mesures	x	x	
	Glissière classant les années selon une mesure				
	« tool-tip » sur les éléments de la carte				
	Loupe de forage				
	Animation par clignotement				
	Arbre dans la légende				

## Chapitre IV. Le prototype développé et les tests effectués avec des utilisateurs

Ce chapitre vise à implémenter une partie des solutions vues précédemment, compte tenu des limites technologiques existantes ainsi que des contraintes temporelles du projet. Le point 4.1 abordera l'environnement technologique dans lequel le projet a évolué. Le paragraphe suivant décrira les bases de données utilisées et ses spécificités. Le paragraphe 4.2 traitera du prototype en lui-même, des fonctionnalités qui ont été implantées pour les légendes : temporelles, spatiales et thématiques.

Le prototype est avant tout une « preuve de concept ». En effet, plus qu'une application « fonctionnelle » et robuste, il représente avant tout une illustration des concepts théoriques. Dans cette optique et compte tenu du temps réduit d'une maîtrise, certains concepts seront simulés afin de pouvoir quand même mesurer la portée de chaque outil au sein de l'interface.

### 4.1 L'environnement technologique

Le prototype a été réalisé sur un ordinateur portable possédant un processeur Intel Centrino cadencé à 1.6 GHz, une RAM de 514 Mo, d'une carte vidéo nVidia de 64 Mo et un disque dur de 40 Go. L'expérimentation a été effectuée en couplant cet ordinateur avec un écran 19 po, à un clavier et à une souris afin de simuler un environnement comportant des conditions réelles d'utilisation, à savoir un PC (Personal Computer) muni d'un écran de grande taille. Idéalement, on aurait pu coupler deux écrans de 19 Po pour permettre une plus grande surface de travail avec le logiciel SOLAP. En effet, ce logiciel utilise une multitude de fenêtres qui occupent beaucoup d'espace. Néanmoins, l'emploi d'un seul écran représente l'utilisation commune et le SOLAP doit remplir l'exigence d'y être fonctionnel. Afin de réaliser ce prototype, plusieurs alternatives pouvaient être choisies :

- Pour la base de données : Le choix du modèle de données détermine le type de base de données que l'on emploiera. En effet, le modèle ROLAP (avec une base de données de type relationnel) sera utilisé. Plusieurs systèmes transactionnels comme MicroSoft Access (dans le cas d'un jeu de

données peu conséquent), Microsoft SQL Server ou encore ORACLE (dans le cas de d'un jeu de données plus important) étaient disponibles. Seuls les deux derniers permettent d'être combinés avec des « add-on » capable de produire des hypercubes, si l'on désire exploiter une structure multidimensionnelle : Analysis Services (pour SQL Server) et ORACLE OLAP.

- Dans le cadre de cette maîtrise, une véritable structure cubique sera utilisée. Pour ce faire, on utilisera MicroSoft Analysis Services et SQL Server car il se combine plus facilement avec le langage de programmation utilisé, à savoir MicroSoft Visual Basic 6.0 et qu'il existe une réelle expertise au CRG sur ce logiciel.
  
- Le logiciel de SIG : En vue d'afficher les données issues de l'hypercube, il était nécessaire d'employer un logiciel de publication de données cartographiques comme les systèmes d'informations géographiques. Deux logiciels se révélaient intéressants : ArcGIS 8.2 d'ESRI et Géomédia Professional 5.1 . Pour des raisons d'expertise antérieure sur ce genre de système à l'université Laval et de compatibilité avec le langage de programmation, Géomédia a été retenu.
  
- L'application client OLAP : Le choix s'est arrêté sur Proclarity car, à l'instar de Géomédia il possède une API (Application Programming Interface) aboutie qui permettra de le coupler au SIG et à Analysis Services de SQL Server, de manière efficace afin de produire le SOLAP. De plus il possède dans sa librairie, tous les outils nécessaires au « *Geographic Knowledge Discovery* » (forage, pivot, graphiques de toutes sortes, tableaux...)

Par ces choix technologiques dictés par les disponibilités de licence au CRG, l'expertise disponible ainsi que par les intérêts qu'ils représentaient, on a choisi de coupler un SIG avec une application OLAP. C'est une stratégie intéressante dans le cadre de cette maîtrise car elle évite de redévelopper les fonctionnalités des deux logiciels et permet donc de produire un prototype SOLAP plus rapidement. Réaliser un logiciel SOLAP ne s'appuyant sur aucun logiciel existant est un projet beaucoup trop long et complexe pour une seule personne dans le cadre d'une

maîtrise. Le défi n'était pas de faire un logiciel générique et complet mais de faire un prototype assez fonctionnel pour démontrer les concepts théoriques avancés.

Par contre, il est à noter qu'un logiciel complet (ne s'appuyant pas sur un SIG et un client OLAP) est présentement en développement par le CRG en collaboration avec les conseillers KHEOPS Technologies pour un premier client, soit le Ministère des Transports du Québec. Il utilise le langage JAVA2 de Sun pour bâtir une application SOLAP permettant de lire une base de données relationnelle ORACLE. Pour donner une idée au lecteur de l'effort à mettre dans un tel logiciel, ce projet implique quatre personnes à temps plein pour une durée d'un an. Malheureusement, les résultats n'étaient pas encore disponibles pour la présente maîtrise.

L'alternative dans cette maîtrise, consistant à combiner deux logiciels existant, était donc la seule réalisable dans le temps imparti. Évidemment, le prototype est limité par les fonctionnalités de ces logiciels (par exemple les graphiques et les tableaux seront strictement identiques à ceux présents dans Proclarity).

## **4.2 Les données ICEM/SE de l'hypercube**

Les données utilisées pour le prototype sont des données existantes issues du projet ICEM/SE . Ce projet visait à permettre aux professionnels de la santé environnementale de manipuler tous les indicateurs qu'ils utilisent pour analyser les maladies au sein d'un même outil : le SOLAP. Il devait « améliorer la prise de décision et les interventions dans le domaine de la santé environnementale par la découverte de nouvelles connaissances en facilitant l'élaboration et la validation de nouvelles hypothèses de recherche. Pour ce faire, il fallait améliorer les opérations de surveillance en santé environnementale par l'accès à des données de haute qualité. Un grand travail de cueillette de données et d'intégration a alors été fait afin de définir près de 20 indicateurs de santé environnementale permettant de produire des analyses poussées»

Dans le cadre de cette maîtrise, il a été choisi d'utiliser une partie des données recueillies pour le projet ICEM/SE : le cube compilé pour le décès du cancer (voir détails dans la Figure 51 Forage dans le cube des décès du cancer de ICEM/SE

et la Figure 52). Ces données permettent de conférer au prototype une tonalité plus réaliste. En effet, le testeur pourra apprécier toute la portée d'une légende interactive efficace face à des données concrètes et d'actualité. Il pourra élaborer des requêtes pertinentes comme : visualiser l'incidence de chaque type de cancer pour chaque territoire de CLSC pour un temps précis pour ensuite forer dans le niveau des cancers afin de visualiser l'incidence d'un seul type de cancer (ex. cancers de l'appareil digestif) pour chaque territoire de CLSC à ce même temps précis (voir illustration suivante).

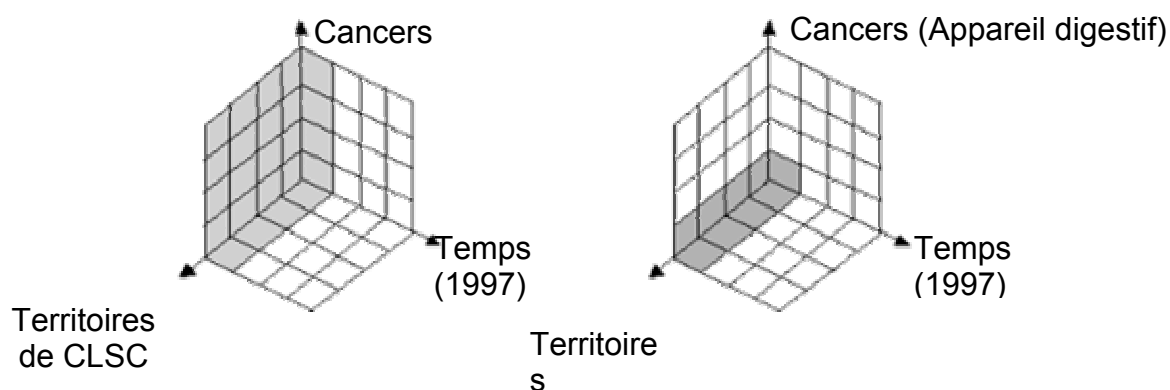


Figure 51 Forage dans le cube des décès du cancer de ICEM/SE

Le cube utilisé dispose :

- de 3 dimensions sémantiques pures : l'âge, le type de cancer et le sexe ;
- d'une dimension spatiale : le découpage socio-sanitaire<sup>9</sup>
- et enfin d'une dimension temporelle : le temps.

Ces dimensions représentent des critères qui permettent de suivre, par exemple, l'évolution spatiale d'un phénomène en fonction du temps, en utilisant un curseur temporel. On peut ainsi voir l'évolution d'un type de maladie au fil des années. On dispose de 3 mesures différentes :

- Le nombre de décès
- Le rapport de taux standardisés<sup>10</sup>
- Et le taux standardisé<sup>11</sup>

<sup>9</sup> « unité géographique définie par un ministère provincial de la Santé. L'unité correspond généralement au domaine de responsabilité d'un conseil régional de santé ou d'une autorité sanitaire »

<http://ivt.crepuq.qc.ca/rss/>

<sup>10</sup> Voir annexe A

<sup>11</sup> Voir annexe A

Les différents niveaux de chaque dimension sont décrits dans la Figure 52. Il est à noter que pour la dimension du temps, il a été rajouté le niveau des mois (ce rajout devra permettre de démontrer l'intérêt du curseur temporel et du calendrier lors de l'analyse). Chaque segment représente une dimension. Chaque tronçon de segment représente un niveau. Prenons l'exemple de la dimension nommée : découpage socio-sanitaire sur la figure ci-dessous, elle comporte trois niveaux : Province, région socio-sanitaire et CLSC dont le plus agrégé est Province.

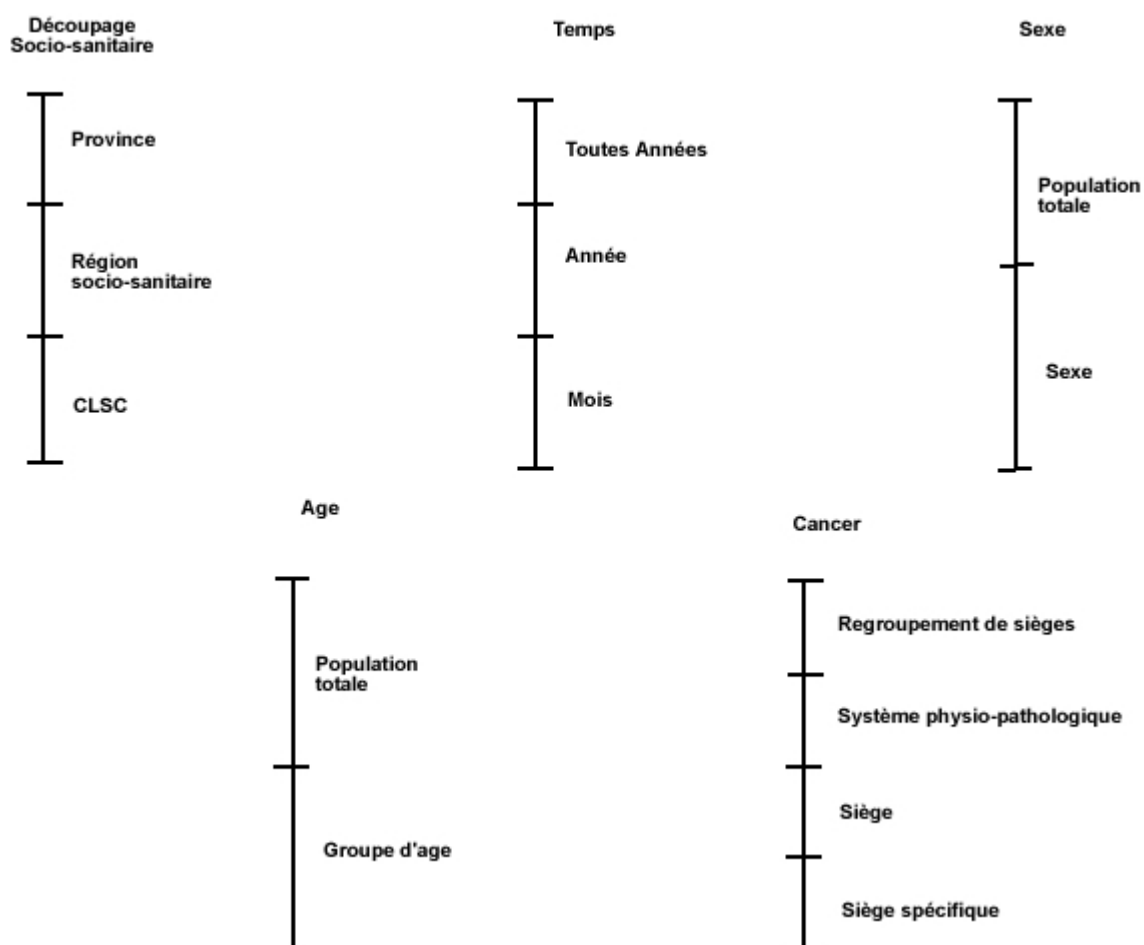


Figure 52 Dimensions du cube représenté dans le prototype avec les données du projet ICEMSE<sup>12</sup>

Ces dimensions sont structurées dans un modèle de données en étoile qui est illustré ci-dessous. Le modèle en étoile est à la base de l'interrogation

<sup>12</sup> Inspiré de Rivest, S. 2001. Documents techniques, projet GEOIDE SOC#1 – Interface cartographique pour l'exploration multidimensionnelle des indicateurs de santé environnementale sur le World Wide Web (ICEMSE))



multidimensionnelle et permet une interrogation rapide des données. Chaque dimension est matérialisée par une table reliée à une unique table de faits. Celle-ci comporte les clés étrangères (les liens) vers les autres tables et les valeurs de chaque mesure.

Cette base de données représente les données source. Elle est ensuite convertie en une structure propriétaire propre à Analysis Services de SQL Server. On dit que l'on « compile le cube » : on calcule toutes les agrégations possibles pour générer la structure multidimensionnelle. C'est cet hypercube que l'application client utilisera pour afficher les données. Et c'est grâce à celui-ci que les interrogations de la base de données gagnent en rapidité de réponses.

---

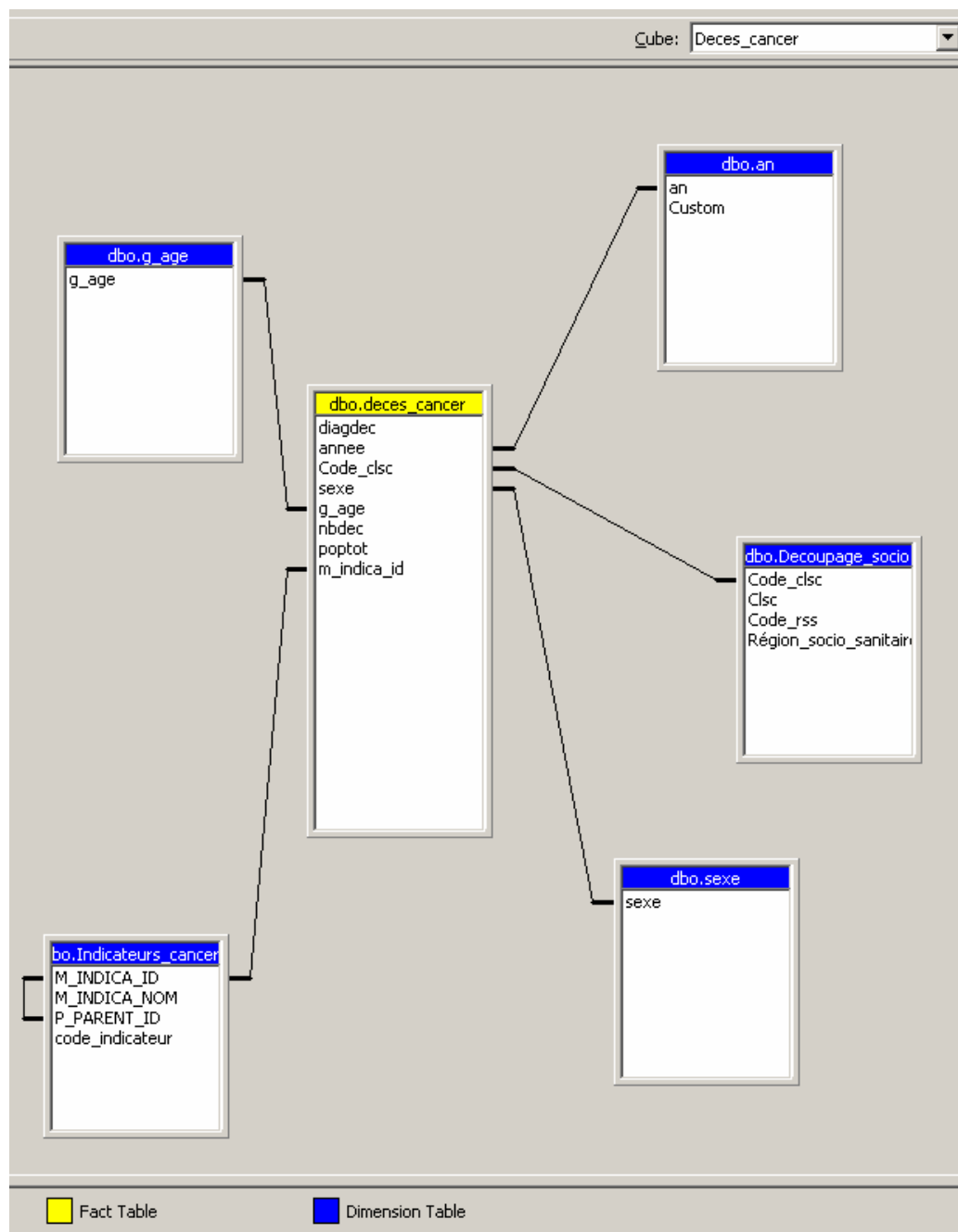


Figure 53 Schéma en étoile du cube décès cancer

### 4.3 Le prototype développé

Avant d'aborder le détail des fonctionnalités développées dans le prototype SOLAP, il est important de souligner certains points. En effet, avant même la possibilité de faire la preuve des concepts développés pour la légende interactive, il a été nécessaire de bâtir un prototype SOLAP fonctionnel regroupant les fonctionnalités de base comme les différents affichages (carte ; tableaux et graphiques) ainsi que les outils de navigation comme les différents forages. Bâtir

un logiciel dans sa totalité a été beaucoup plus difficile et a nécessité beaucoup plus de temps de développement que s'il y avait déjà eu un prototype contenant les composants de base. Ce fut avant tout un défi technique car le dialogue entre un GIS et l'application client OLAP n'est pas automatique et demande un stockage temporaire en mémoire ou sur une base de données, des valeurs qui transitent d'un composant à l'autre. Dans le paragraphe qui suit, on abordera l'allure générale du prototype puis les fonctionnalités développées pour les volets spatiaux, temporels et thématiques. Puis, le paragraphe suivant traitera des limites du prototype et des fonctionnalités qui ont été simulées pour permettre la preuve du concept.

### **4.3.1 Fonctionnalités développées**

#### **4.3.1.1 L'application dans son ensemble**

L'application s'appuie sur les fonctionnalités de *Proclarity* (pour la navigation multidimensionnelle et la présentation des vues graphiques et tabulaires) et de *Géomédia.5* (pour l'affichage cartographique). Au travers d'un environnement de développement *Microsoft Visual Basic*, l'application tire profit des composantes des deux architectures et les fait dialoguer afin de créer une interface graphique SOLAP unifiée (i.e. un OLAP couplé à un GIS). Ce dialogue s'effectue par le biais de tables intermédiaires stockées sous Microsoft Access. Les détails ne seront pas abordés dans ce mémoire car ils ne constituent pas l'intérêt premier de la recherche.

La capture ci-dessous représente l'allure générale de l'interface client développée. En haut à droite, chaque onglet représente une dimension du cube. Quand l'utilisateur clique sur l'une d'elles, il accède en dessous à ses différents membres organisés en niveaux par l'intermédiaire d'un arbre de navigation. Encore en dessous se situent les cases permettant de choisir les dimensions que l'on souhaite retrouver en rangée et colonne dans l'affichage par tableau.

En haut à gauche de l'application se situent trois onglets permettant de choisir les outils adaptés au type de représentation affichée. On utilisera l'onglet visualisation pour accéder aux outils propres à la carte comme les zooms par exemple. Le second onglet permet d'afficher les outils nécessaires à la navigation temporelle comme la « time-line » par exemple. Et le dernier pour les outils relatifs à la

thématique. On reviendra plus en détail sur les différentes fonctionnalités proposées plus loin dans ce chapitre. Le choix des onglets est avant tout ergonomique. Quand on dispose de beaucoup d'outils qui ne sont pas reliés, les onglets permettent de regrouper ces outils en fonction de leur utilisation et ainsi permettre une meilleure utilisation des outils (on y accède beaucoup plus rapidement en fonction du type d'analyse que l'on désire effectuer). Le gain d'utilisabilité ainsi que l'ergonomie optimale des onglets est abordé par Jacob Nielsen dans « When Bad Design Becomes the Standard » .

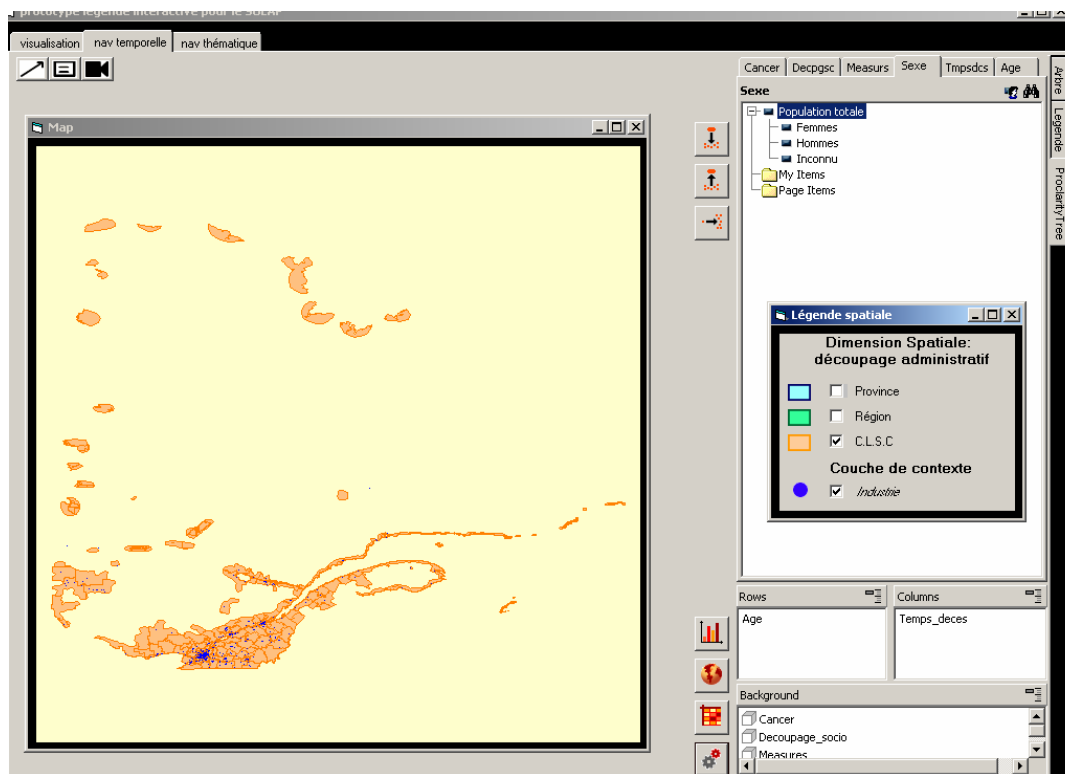


Figure 54 Vue d'ensemble du prototype

À gauche de l'arbre de navigation, disposés à la verticale et toujours visibles se situent les outils caractéristiques du SOLAP. On peut les reconnaître grâce à leur couleur dans les tons orangés. On retrouve donc (en partant du haut vers le bas dans la figure) :

- Le « drill-down »
- Le « drill-up »
- Le “drill-across”
- L’affichage des graphiques
- L’affichage de la carte
- L’affichage du tableau
- Le bouton d’exécution

L'interface permet d'afficher des tableaux, des graphiques ou encore des cartes. On peut avoir un aperçu de ces affichages dans la capture ci-dessous. La carte thématique est produite à partir du logiciel SIG *Geomedia* auquel il est passé les valeurs issues du cube OLAP par l'intermédiaire d'une table temporaire *Microsoft Access*. Les tableaux et les histogrammes sont directement produits par l'application client *Proclarity*. Il est important de préciser que quand on parle ici d'un logiciel, c'est en fait des composantes de son architecture dont il est question.

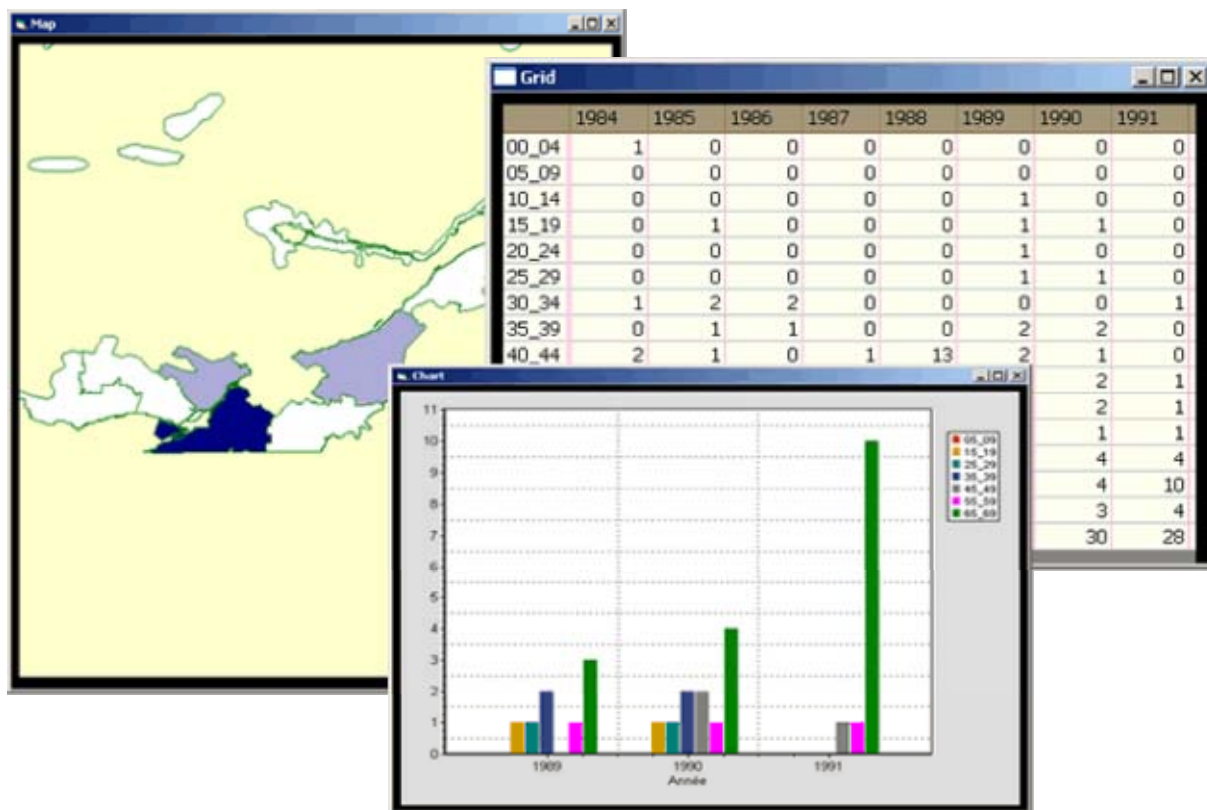


Figure 55 Les différentes représentations des données possibles dans le prototype

#### 4.3.1.2 Au niveau spatial

La légende spatiale ressemble à une légende conventionnelle. On peut voir ci-après l'allure qu'elle revêt dans le prototype. Il y a trois couches polygonales disponibles dont une seule est visible (celle où la case est cochée). Ces couches représentent les trois niveaux de la dimension spatiale.

Il existe une couche de contexte : les industries. On rappelle que les couches de contextes ne sont pas contenues dans l'hypercube. Elles sont disponibles pour une meilleure compréhension du contexte général des données.

Deux versions de la légende sont illustrées sur la figure :

- La première (celle du haut) représente la couche affichée sans thématique, on peut voir que les carrés de couleur de la légende sont pleins et que la case est cochée en noir.
- Dans la légende du dessous, la thématique est présente et de ce fait, chaque vignette colorée qui était initialement remplie est désormais vide et la case est cochée en gris. Ainsi, dans ce cas; c'est le contour des polygones (en l'occurrence vert sur la figure) qui identifie le niveau spatial visualisé.

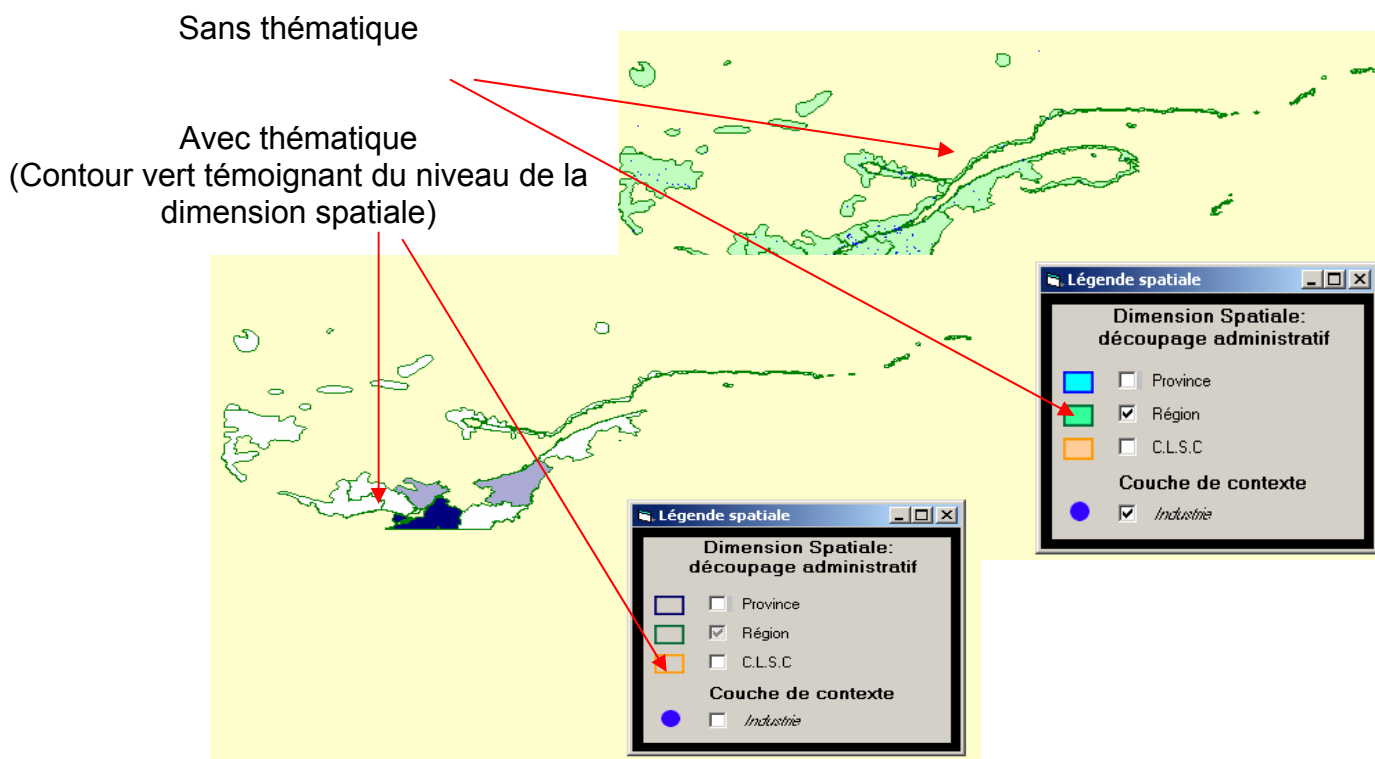


Figure 56 Légende spatiale

Quand l'utilisateur passe le curseur sur les carrés de couleur, une information contextuelle (« tool-tip ») apparaît et propose à l'utilisateur un échantillon des membres présents dans le niveau survolé. On peut voir un exemple de ce « tool-tip » dans la figure ci-dessous. L'utilisateur survole le carré vert du niveau des régions et le « tool-tip » affiche un échantillon des membres de ce niveau. C'est une interactivité intéressante car elle permet d'avoir un aperçu général des membres du niveau visualisé tout en permettant à l'utilisateur d'avoir l'arbre de navigation ouvert sur une autre dimension.

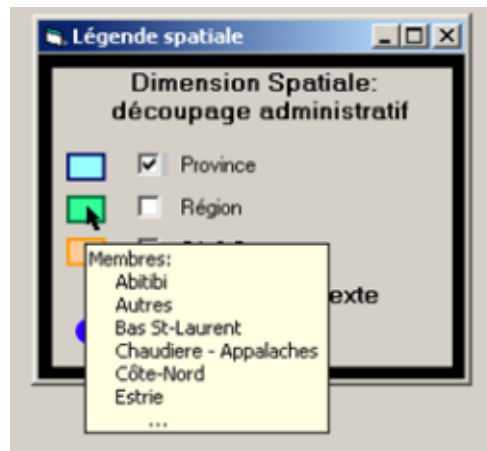





Figure 57 ToolTip "intelligent" donnant les détails des membres du niveau

#### 4.3.1.3 Au niveau temporel

En ce qui concerne la légende temporelle, la « time-line » et le « lanceur d'animation » ont été élaborés dans le prototype. Pour le calendrier, seules certaines fonctionnalités ont été implémentées (celles qui étaient compatibles avec le jeu de données de ICEMSE). On accède aux outils temporels à l'aide de l'onglet « nav temporelle ». L'utilisateur a le choix entre trois boutons différents : la « time-line » , le calendrier  ou le lanceur d'animation  pour accéder aux trois outils de la légende temporelle. On détaillera chacune des fonctionnalités de la légende temporelle dans les paragraphes suivants.

##### 4.3.1.3.1 Le curseur temporel

Le curseur temporel permet de modifier, d'une manière simple en quelques clic, la sélection des membres issus de la dimension temporelle. Prenons un exemple pour expliquer son fonctionnement : la Figure 58 représente la dimension temporelle pour le niveau des années. Le membre 1984 du niveau des années de la dimension du temps est donc sélectionné et la représentation affichée dans l'interface (la carte, le tableau ou l'histogramme) illustre le croisement de ce critère avec les autres membres des autres dimensions. L'utilisateur peut déplacer le curseur afin de voir évoluer la représentation de son choix au fur et à mesure (de 1984 à 1985...), il voit d'un seul coup d'œil, les membres disponibles pour le niveau en question. Ici en l'occurrence, il a accès aux années de 1984 à 1998. Il se déplace de proche en proche et peut donc ainsi comparer les mesures pour

chaque année. Il n'a pas d'autres opérations à réaliser que le déplacement du curseur, la carte (ou les autres représentations) s'adapte automatiquement.



Figure 58 Le curseur temporel de la légende du SOLAP

En haut à droite se situe un petit icône ++++ (voir Figure 59). En cliquant dessus, l'utilisateur change de mode de représentation. En effet, le curseur temporel a la possibilité de se doubler afin de proposer la visualisation de période (exemple : de 1992 à 1997) ou une visualisation d'années disjointes (exemple : 1992 et 1994). Dans le cas du prototype, cette combinaison d'années équivaut à des sommes algébriques des valeurs des mesures (ex : si il y a eu 12 décès en 1984 et 10 décès en 1985, et si l'on désire voir 1984 et 1985 alors la valeur affichée dans la carte est 22 décès) à tout moment, l'utilisateur connaît le mode d'utilisation qu'il utilise grâce à cette icône (↔ pour une période, et ++++ pour deux années disjointes). Évidemment, on aurait pu pousser encore un peu plus l'analyse en proposant à l'utilisateur de cumuler N années mais il aurait fallu cumuler les curseurs dans la glissière temporelle et donc surcharger la légende. On veut, à tout prix, éviter d'alourdir la légende car avant d'être une interface à l'utilisateur elle est un moyen d'expliquer ce qui est affiché sur la carte.

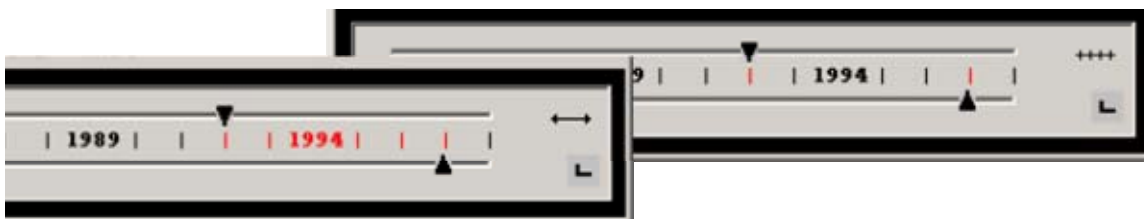



Figure 59 Les différents types de sélection dans la glissière (période ou membres disjointes)

Pour ce qui est des opérations de forage, l'utilisateur a accès à un forage sur le membre sélectionné à l'aide d'une combinaison de touches : CTRL + clic. Quand il



appuie sur CTRL et qu'il survole l'index de la glissière alors le curseur change de forme et devient le symbole du forage : . En forant, une nouvelle glissière temporelle s'ouvre juste en dessous de la première. Elle représente l'ensemble du membre sélectionné visualisé au niveau inférieur. Dans l'exemple ci-dessous, on fore sur l'année 1984 et la seconde glissière affiche les douze mois de cette année (numérotés sur la figure de 1 à 12).

Une fois l'opération de forage effectuée, l'utilisateur peut naviguer à travers le niveau inférieur et la glissière du niveau supérieur (le niveau des années est gelé), l'utilisateur peut choisir de la fermer ou bien de la laisser ouverte pour avoir une vision du niveau père et/ou s'il prévoit de remonter dans la structure rapidement.

On aurait pu permettre une navigation dans la glissière supérieure quand le niveau inférieur est affichée. Ainsi par exemple, on pourrait visualiser tous les mois de février année par année.

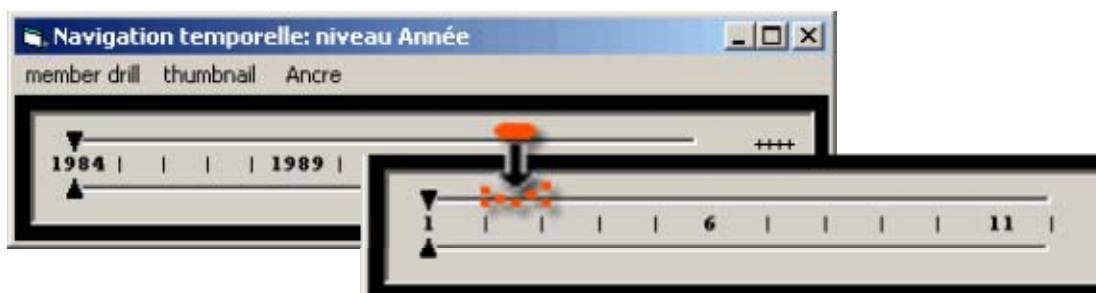


Figure 60 Le drill sur un membre particulier pour le curseur temporel

Au fur et à mesure que le curseur se déplace la carte s'adapte, les catégories de la thématique sont recalculées et ceci automatiquement. L'utilisateur peut donc appliquer toute son attention sur la comparaison des cartes. Leur succession crée l'animation qui facilite la comparaison. Il peut détecter plus facilement les césures dans la classification et identifier les zones à risques plus rapidement.

#### **4.3.1.3.2 Le calendrier**

Le calendrier est un outil qui s'appuie sur la représentation conventionnelle du temps en occident. Les gens sont habitués à le manipuler d'une manière efficace pour organiser leur emploi du temps. Il comporte une entête portant le nom du mois et l'année du phénomène représenté sur la carte. A l'aide des flèches horizontales, il est possible de passer d'un mois à un autre (il est à mentionner que cette navigation n'est pas cyclique : après décembre 1985 vient janvier 1986). En

utilisant les flèches verticales, on navigue année par année. Pour ce qui est de la navigation jour par jour, elle n'a pas été testée car le jeu de données de l'ICEM/SE ne permettait pas d'être raffiné jusqu'à la granularité des jours pour la dimension temporelle. Mais idéalement elle devrait permettre de naviguer jour par jour avec quatre degré de liberté : par exemple pour le 15 février 1985 on peut passer au 8, au 22, au 14 ou encore au 16 février à l'aide des flèches de navigation du clavier. C'est une visualisation unique de par ses quatre directions de navigation. Le type d'analyse qui pourra être fait rapidement en utilisant la flèche « descendre » sera de comparer tous les jeudis du mois par exemple (il est à noter que là encore ce n'est pas une navigation cyclique et que l'on passe donc du jeudi 28 février au jeudi 7 mars 1985).



Figure 61 Le calendrier vu comme une légende

#### 4.3.1.3.3 Le lanceur d'animation

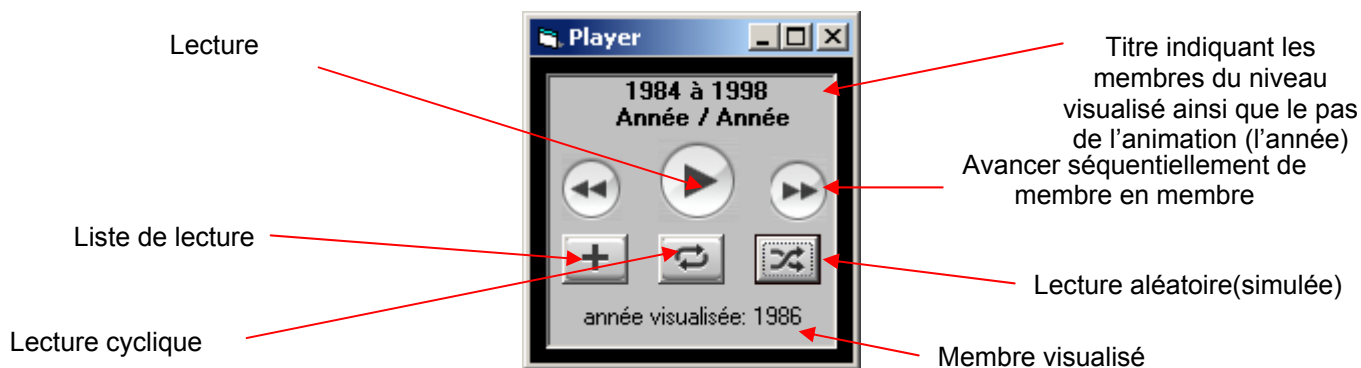
Le principe de cet outil est simple : il automatise le défilement des membres de la dimension temporelle dans un même niveau (exemple : les années). Ce lanceur est synchronisé avec la « time-line ». Ainsi, en appuyant sur le bouton lecture (le triangle isocèle), on lance l'animation, les membres du niveau visualisé défilent et en même temps le curseur temporel se déplace pour garder les affichages cohérents.

Au niveau de la navigation l'utilisateur peut :

- Lancer l'animation pour se concentrer sur l'évolution du phénomène. Tout se passe comme s'il visualisait un mini-film.
- Naviguer séquentiellement de membre en membre grâce aux doubles flèches. Elles permettent d'aller au membre suivant ou précédent dans le niveau.

- Permettre ou pas à l'animation d'être cyclique

Lancer une animation en mode aléatoire, ainsi les membres d'un même niveau seront parcourus de manière aléatoire afin de faire apparaître de nouvelles corrélations encore insoupçonnées.



L'utilisateur peut à tout moment visualiser le pas (d'année en année sur la figure ci-dessus) et la période (de 1984 à 1998) de l'animation. Il a également accès au membre visualisé, dans l'exemple ci-dessous c'est l'année 1986 qui est illustrée sur la carte.

#### 4.3.1.4 Au niveau thématique

Au niveau de la légende thématique, deux outils ont été retenus : d'une part, le curseur thématique permettant de réduire l'intervalle d'analyse (il est très similaire à la glissière temporelle) et d'autre part la légende conventionnelle agrémentée de fonctionnalités interactives que nous allons détailler dans les prochains paragraphes.

##### 4.3.1.4.1 La légende conventionnelle

La légende permet de représenter les intervalles de la thématique réalisés pour une mesure particulière. Le nombre de catégories est fixe, il est déterminé par l'administrateur.

A. La légende comprend plusieurs éléments :

- Un titre : il permet de connaître les dimensions qui ont été choisies en colonnes et rangées, la (ou les) mesure(s) affichée(s) et les niveaux des dimensions en arrière-plan.
- Un bouton poussoir : il permet d'interchanger l'indicateur utilisé pour représenter la mesure, à savoir : intervalles égaux (« equal range »), écart type (« standard deviation ») ou encore nombre égaux (« equal count »)
- Des catégories : elles permettent de représenter les différents intervalles coloriés sur la carte. Elles comportent une vignette avec la couleur de l'intervalle et une étiquette identifiant l'intervalle en question (ex : 100 - 200)

La figure ci-dessous représente une capture de la légende thématique faite pour le nombre de décès en fonction du découpage socio-administratif et de l'âge des patients.

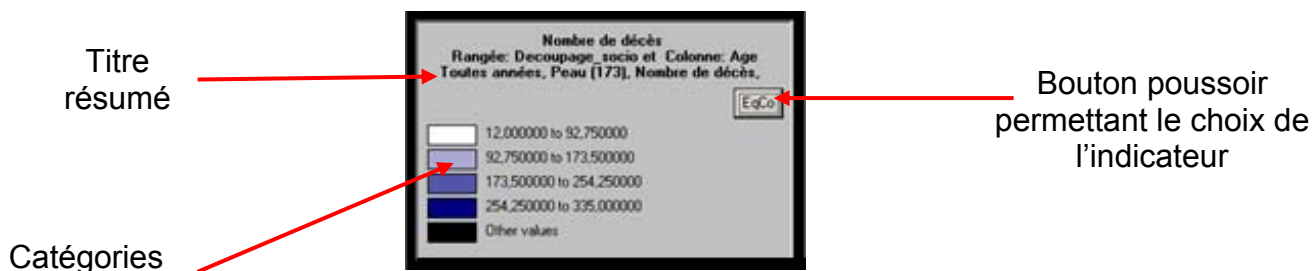


Figure 63 Légende thématique

Le prototype supporte également les mesures multiples (de une à deux mesures sur la même carte). La capture suivante donne un aperçu du comportement de la légende et de la carte quand deux mesures sont sélectionnées en colonne. Les deux mesures sont représentées sur la carte. Les valeurs de la première sont classées selon la couleur (du blanc au bleu dans la figure) tandis que la seconde utilise différentes hachures pour se représenter. Sur la légende, deux séries de vignettes sont représentées l'une à côté de l'autre. Elle comporte un titre général commun aux deux mesures et deux sous-titres permettant de caractériser chaque thématique (nombre de décès et rapport de taux standardisés dans l'exemple ci-dessous).

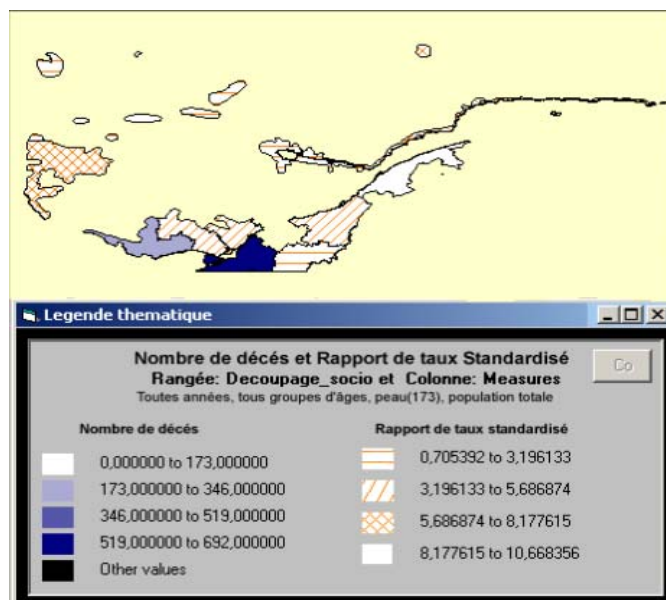


Figure 64 Cas où plusieurs mesures (Nombre de décès et rapport de taux standardisé) sont sélectionnées en colonne

En ce qui concerne la sémiologie graphique utilisée, ce ne sont que des suggestions. En effet, de nombreuses divergences existent sur la façon d'appliquer les règles de sémiologie graphique de Bertin, sur les ajustements nécessaires à l'évolution de la carte papier à la carte numérique. Il s'agit d'un choix relevant de l'expertise professionnelle (dans ce cas, des professionnels de la santé). Face à cette situation, les suggestions de légendes ne focalisent pas sur le bon choix de sémiologie mais sur le type d'interfaces, de légendes permettant de naviguer dans les données.

#### B. L'interactivité de la légende

En actionnant le bouton poussoir, l'utilisateur peut changer d'indicateur d'une manière rapide sans avoir à interroger le serveur OLAP. C'est une fonctionnalité qui est directement traitée par la composante du SIG. On peut voir dans la Figure 65 ci-dessous, que l'allure de la carte évolue de manière notable lors d'un changement d'indicateur.

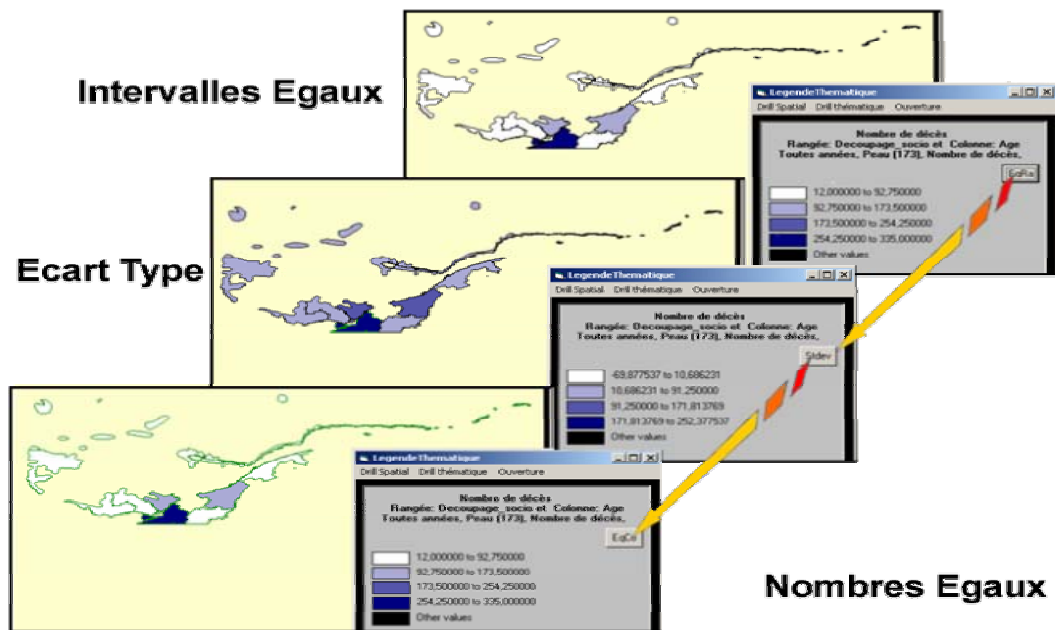


Figure 65 Les différents indicateurs de la légende thématique

Cette légende comporte un part d'interactivité. En effet, quand l'utilisateur survole les vignettes des catégories, le curseur change de forme pour indiquer qu'un forage est possible. En effet, s'il clique dessus, la catégorie en question se sépare en un certain nombre de sous-catégories (déterminées par l'administrateur dans cette version). On peut voir une représentation de ce forage sur la figure suivante. Le deuxième intervalle (92.75 – 173.5) comporte deux polygones, afin de connaître sur quel polygone le nombre de décès est plus important, l'utilisateur fore dans cet intervalle pour le raffiner. Ainsi il se sépare en trois sous-catégories. Et on peut donc voir quelle entité comporte le plus de décès, en l'occurrence le polygone situé à gauche sur la carte. L'utilisateur peut continuer à forer dans l'un de ces sous-intervalles afin de dissocier d'autres éléments s'il a lieu (non disponible dans cette version du prototype) ou bien refermer les sous-intervalles à l'aide du petit bouton comportant le signe « << ». Il est intéressant de mentionner que si on regarde attentivement les nouveaux sous-intervalles on peut voir que le premier d'entre eux commence seulement à 124 au lieu de commencer comme son « père » à 92.75. Cela est due au fait qu'il n'y a pas de polygone avant cette valeur et que l'on demande une thématique en nombres égaux.

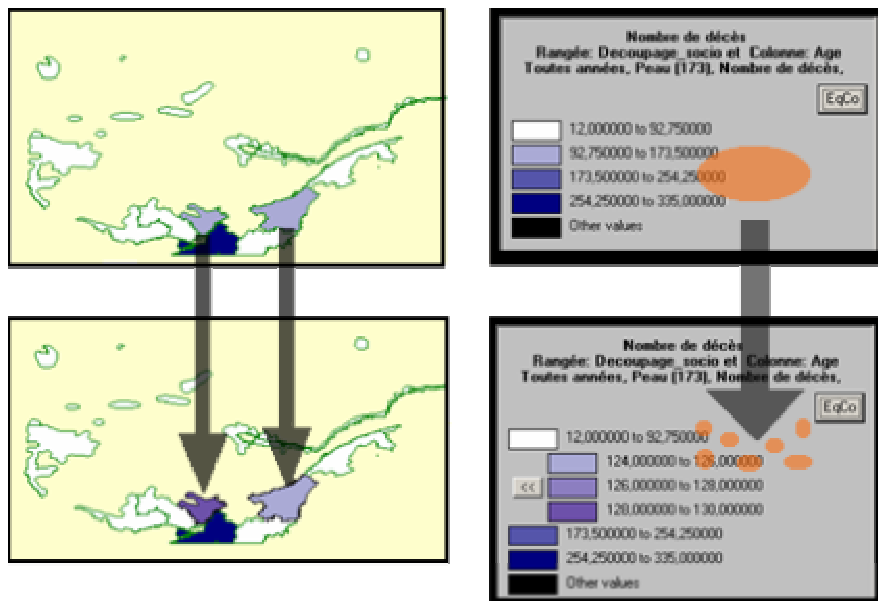


Figure 66 Forage sur une catégorie de la thématique

Étant donné que l'on est amené à naviguer à l'intérieur de la légende thématique, on doit avoir des raccourcis pour les forages thématiques et spatiaux. Ainsi, l'utilisateur peut continuer son analyse au travers de la légende. Il peut effectuer un forage spatial et donc visualiser tous les membres du niveau inférieur. Il peut également forer dans la dimension descriptive représentée dans la thématique (dans le cas de la figure suivante, ce serait la dimension Age et du membre : tous les Ages on pourrait choisir une tranche d'âge en particulier). Une partie de ce type de raccourci a été implantée dans le prototype. Bien évidemment, il faudrait que toutes les fonctions soient présentes pour avoir une panoplie complète de raccourcis.

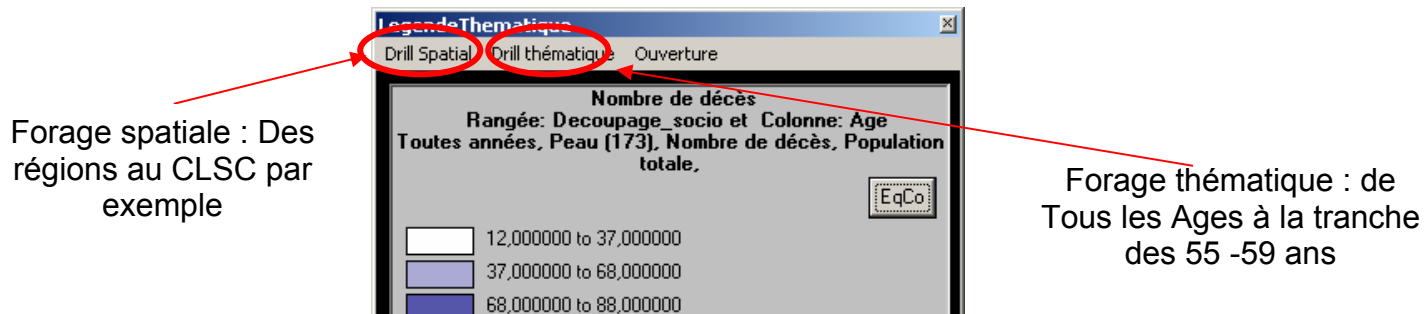


Figure 67 Raccourci pour les opérations SOLAP

#### 4.2.1.4.2 La glissière thématique

Un autre outil interactif de la légende thématique a été réalisé: la glissière thématique. Son fonctionnement, pour les besoins du prototype a été simplifié

Ainsi, la glissière est composée de deux curseurs. Ces curseurs sont positionnés sur les limites de l'intervalle initial d'analyse (sur la capture ci-dessous dans la carte du haut : 12 – 335). La légende est représentée d'une manière horizontale par des intervalles de couleurs. Lors d'une analyse, l'utilisateur peut réduire l'intervalle de la mesure en jouant sur les deux curseurs afin de faire varier les limites des valeurs des mesures représentées sur la carte. Dans la figure ci-dessous, pour passer de la carte du haut à celle du milieu, on a déplacé le curseur symbolisant la limite inférieure d'une catégorie (on passe de [12-335] → [37-335]). Il est à noter que dans cette version du prototype on autorise seulement le déplacement du curseur de catégorie en catégorie (l'utilisateur ne peut pas choisir de couper un intervalle en deux grâce à cet outil). Ainsi dans la carte 2, on ne visionne plus l'intervalle [12-37] représenté en blanc dans la carte 1. On réduit la portée totale des valeurs de la mesure afin de scléroser l'analyse aux intervalles sur lesquels on désire mettre l'emphase. Dans un outil idéal, il pourrait y avoir autant de curseurs que l'utilisateur désire afin de visionner des intervalles disjoints (ex : [12-37] et [68-88]).



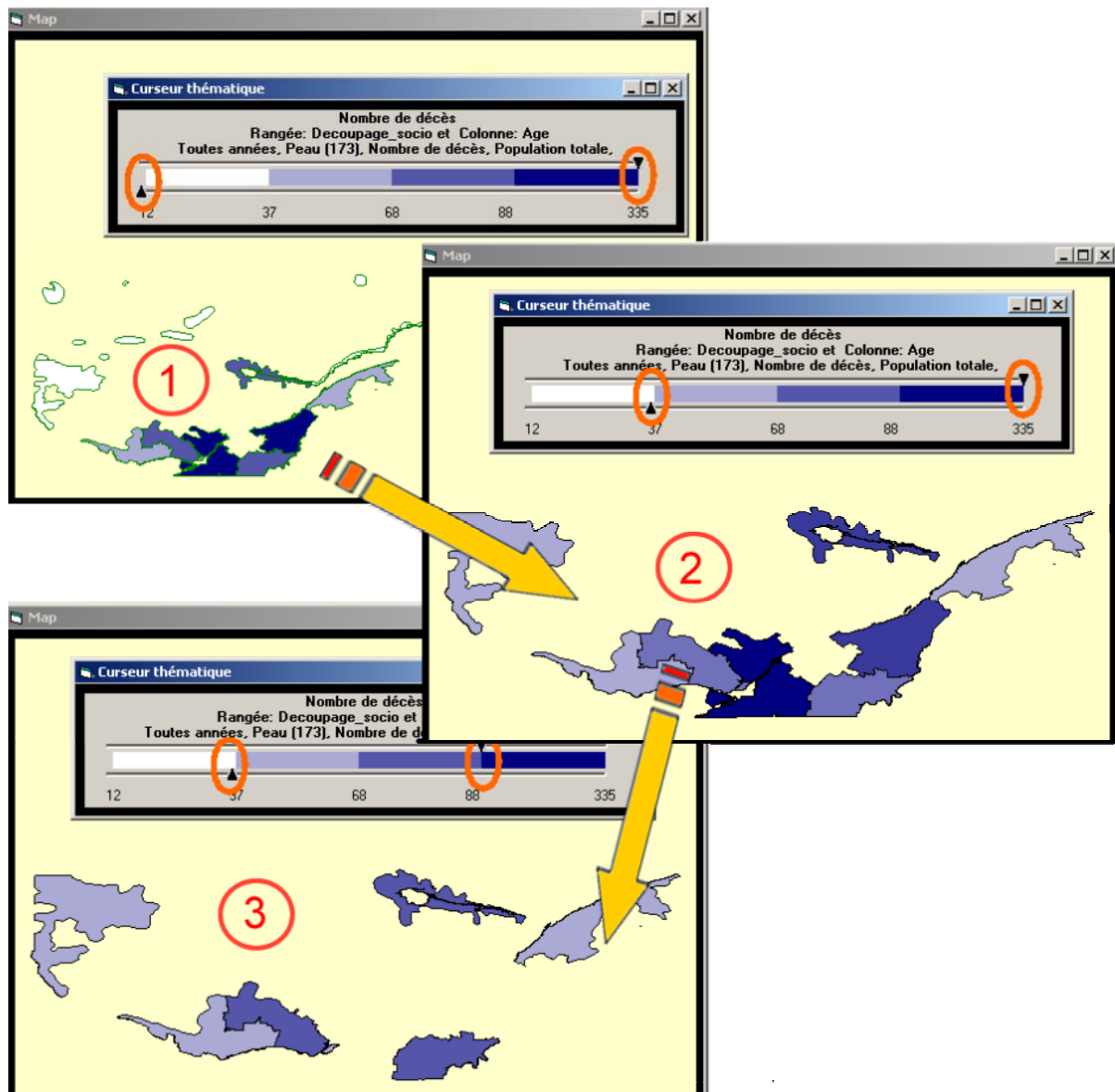


Figure 68 Le curseur thématique

### 4.3.2 Fonctionnalités simulées

Certaines fonctionnalités n'ont pas pu être reproduites dans le prototype. Et ceci pour différentes raisons :

- Limite du langage de programmation
- Limite des fonctionnalités de *Geomedia* et/ou de *Proclarity*
- Cube de simulation inadapté à ce type d'analyse
- Temps de développement trop important

A cause de toutes ces raisons, on a choisi de simuler certaines de ces fonctionnalités de manière à donner un aperçu général de toutes les facettes de la

légende interactive et forable. Avant même le besoin de produire une application robuste, c'est la preuve du concept que le prototype doit réaliser. On a donc dû simuler plusieurs éléments dans les volets temporels et spatiaux.

### 4.3.2.1 Simulation dans la légende temporelle

#### 4.3.2.1.1 *Ancre de visualisation (début, fin de l'année)*

Dans la figure ci-dessous, cerclé de rouge, on peut voir à droite, dans le coin du bas, un bouton qui permet de choisir l'indicateur (la moyenne, l'écart type, la médiane, le mois minimum ou maximum...) adapté à ses besoins. Ici, en l'occurrence, l'utilisateur navigue sur le niveau des années. Chaque membre est représenté par le premier mois de l'année (ainsi on compare les cartes pour les mois de janvier de 1984, 1985, 1986...).



Figure 69 Ancre de visualisation

#### 4.3.2.1.2 *Le forage global*

On a vu précédemment pour la glissière temporelle, la possibilité de forer sur un membre en particulier (ex :1999) mais il peut être judicieux de forer sur le niveau en entier. Ainsi on ne veut plus seulement accéder aux mois de l'année 1999 mais à ceux de toutes les années. On peut voir dans la figure ci-dessous une illustration de cette fonctionnalité. En utilisant l'ascenseur horizontal, l'utilisateur peut accéder à n'importe quel mois (de 1988 à 1999).

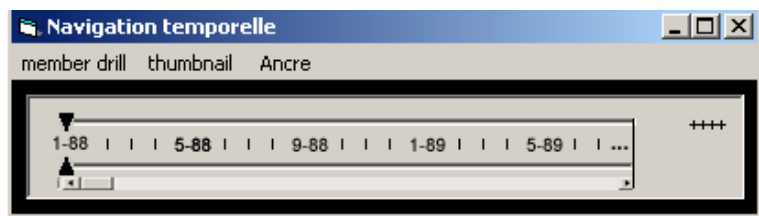


Figure 70 Forage global

#### 4.3.2.1.3 La liste de lecture du lanceur d'animation

Au niveau du lanceur d'animation, la possibilité de faire une liste de lecture particulière a été faite car elle s'appuie sur le même principe que la lecture aléatoire mais demande un temps de développement ne rentrant pas dans le délai de cette maîtrise. Dans une application idéale, l'utilisateur pourrait choisir l'enchaînement qu'il veut voir se réaliser dans l'animation (ex : 1985 puis 1984 puis 1992...). Ainsi, l'usager peut comparer les membres cibles qu'il croit avoir identifiés comme source de problème. Cet outil est intéressant quand le pas de l'animation est plus petit que le cycle d'un phénomène récursif (par exemple une sécheresse qui a lieu tous les deux ans contre un pas d'animation de taille : l'année). Sur la Figure 71, on dispose des membres disponibles pour le niveau dans la boîte de gauche et on peut les transférer dans l'ordre que l'on souhaite dans la boîte de droite pour choisir l'enchaînement que l'on veut visionner.

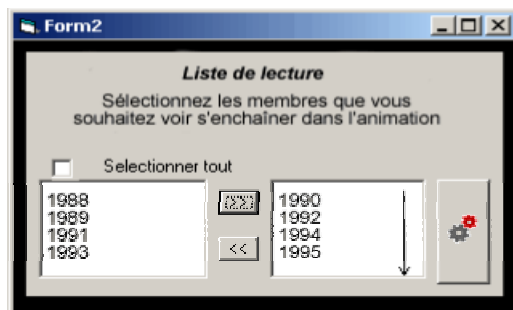


Figure 71 Liste de lecture pour l'outil d'animation temporelle

#### 4.3.2.1.4 La fenêtre de miniatures (« thumbnail »)

Visualiser en un seul coup d'œil l'ensemble des cartes thématiques pour les membres d'un niveau hiérarchique directement inférieur au membre sélectionné peut s'avérer essentiel. Par exemple, l'usager clique sur l'année 1999 et il accède aux miniatures des thématiques pour tous les mois de cette année (de janvier à décembre). Il peut détecter les problèmes très facilement et gagner ainsi un temps précieux dans son analyse. Il s'agit d'un forage dont on affiche tous les membres du niveau inférieur.

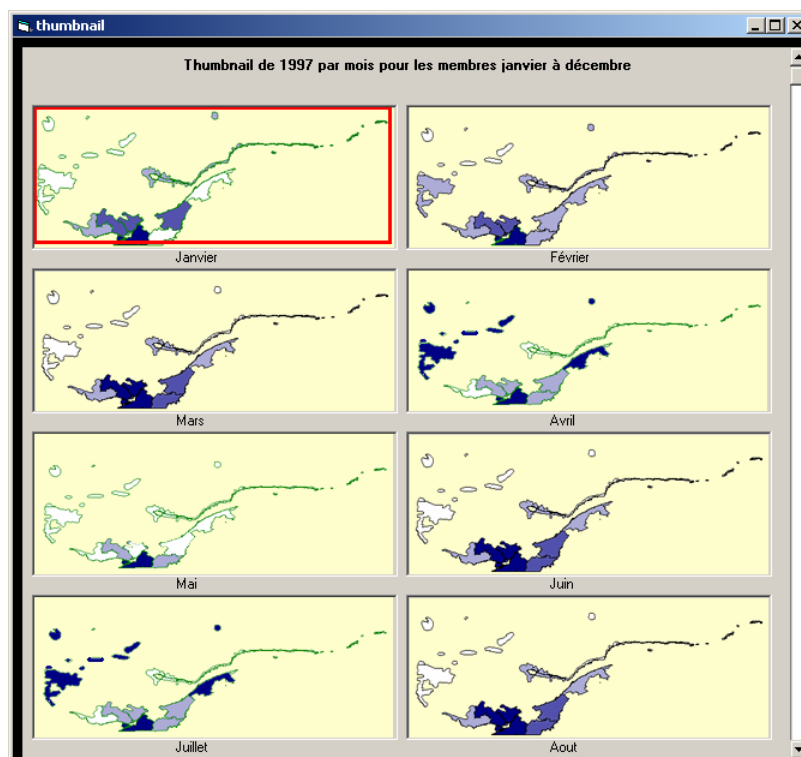


Figure 72 Miniatures des mois d'une année

#### 4.3.2.2 Simulation dans la légende thématique

L'arbre de navigation peut comporter un petit icône permettant de résumer pour une mesure en particulier quel type de thématique est appliquée sur la carte pour la représenter. Sans ouvrir la légende, l'utilisateur connaît le type de variable visuelle utilisée. En cliquant sur l'icône, il affiche la légende tandis que s'il coche la case, il joue sur la visibilité de la thématique sur la carte (cochée pour visible).

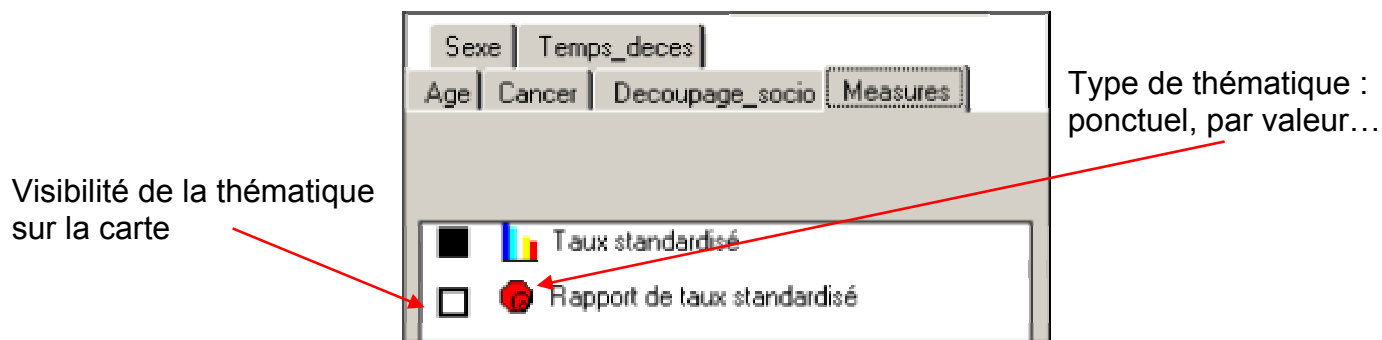


Figure 73 Icône de raccourci dans l'arbre de navigation

## **4.4 Les limites du prototype**

Comme il a été mentionné précédemment, le prototype n'est pas parfait. Certains points seraient à améliorer mais ils ont été mis entre parenthèses compte tenu des choix effectués au niveau du langage de programmation, des logiciels utilisés ainsi que du temps limité d'une maîtrise. Mais la preuve du concept a été faite. Les points néanmoins à retenir comme limites de ce prototype sont les suivants :

### **4.4.1 Le dialogue SIG/Client est trop lent**

En effet, étant donné qu'il est nécessaire de faire communiquer deux composantes issues de logiciels différents (le OLAP et le SIG) et que l'on a choisi de passer par l'écriture dans une base de données des informations qui transitent; le temps de dialogue et d'affichage d'une thématique sur la carte est beaucoup trop lent (2-4 secondes pour un petit cube). Il est acceptable dans le cas d'un prototype créé dans le but de démontrer des concepts mais dans le cas d'une application robuste, il sera nécessaire de repenser cette partie afin de diminuer le temps de dialogue. On pourrait par exemple, stocker dynamiquement en mémoire ces données en transit si elles n'excèdent pas une certaine limite.

### **4.4.2 Limites dans la navigation**

L'application n'est pas robuste. Dans ce prototype, seuls quelques parcours, quelques combinaisons d'opérations judicieuses pour établir la preuve du concept, sont valides lors de la navigation.

### **4.4.3 Certaines fonctionnalités sont simulées**

Comme on a pu le voir précédemment certains aspects de la légende n'ont pu être codés.

### **4.4.4 La légende devrait être adaptable à toutes les vues**

La légende a été étudiée pour qu'elle s'adapte au besoin de la carte mais elle pourrait s'étendre aux autres représentations comme les graphiques ou encore les tableaux.

## 4.5 Test avec les utilisateurs

Afin de confronter le prototype à de vrais utilisateurs, cinq experts en SOLAP ont été consultés. Les différents volets de la légende interactive et forable leurs ont été exposés afin de valider leur pertinence. Les spécialistes sont des membres du Centre de Recherche en Géomatique, ils utilisent ou construisent des SOLAP depuis deux à cinq ans. Ils connaissent donc les besoins d'un tel logiciel et savent cerner exactement le type d'analyse auquel il doit servir.

### 4.5.1 Les points soulevés au niveau du fonctionnement

Voici la synthèse des commentaires qui ont été fait au niveau du fonctionnement de la légende.

#### 4.5.1.1 Le curseur thématique

- Dans le prototype, le curseur thématique se déplace d'unité en unité, il serait intéressant qu'il permette de scinder les intervalles comme l'usager le désire. Grâce à un dédoublement de curseur, la sélection d'intervalles disjoints serait également possible (dans la figure ci-dessous on pourrait visualiser le nombre de décès allant de 20 à 37 et de 100 à 335 en combinant ces deux fonctionnalités supplémentaires)

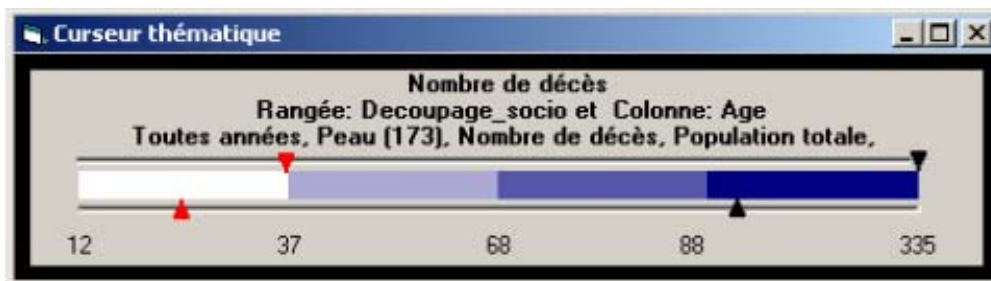


Figure 74 Sélection d'intervalle disjoint dans le curseur thématique

- Puis en cliquant dans une catégorie, on déclencherait une opération de forage dans la granularité de la thématique et ainsi l'intervalle se partitionnerait pour raffiner l'analyse (*nota*: cette fonctionnalité est également présente dans la légende thématique conventionnelle).

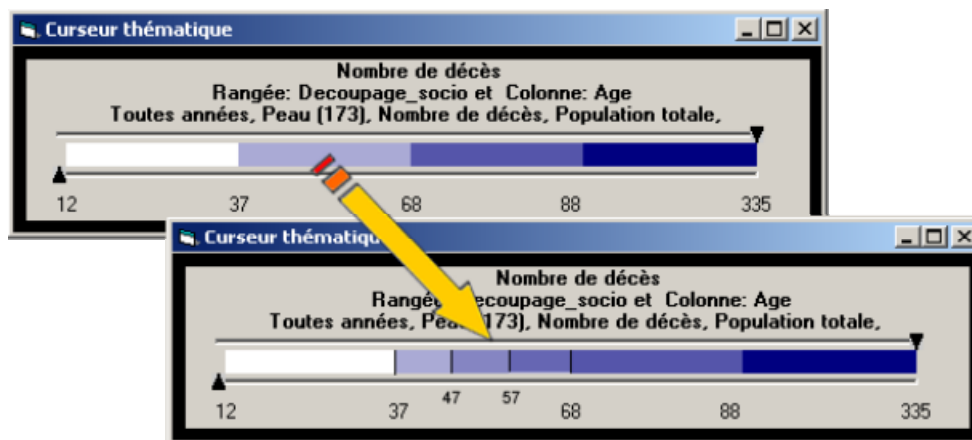


Figure 75 raffinement de la thématique pour un intervalle cible

- Et enfin, il serait intéressant de visualiser chaque intervalle représenté, par une bande de couleur de taille proportionnelle à la taille réelle de l'intervalle (ils sont actuellement de taille fixe).

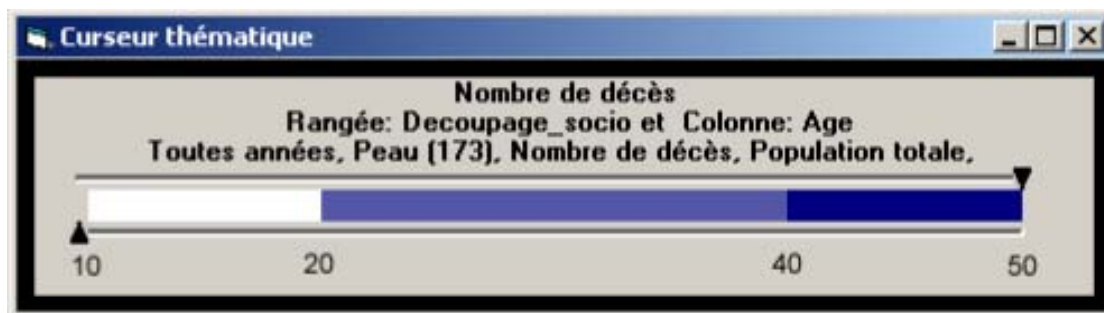


Figure 76 Curseur thématique avec catégorie reflétant la valeur réelle

#### 4.5.1.2 La glissière temporelle

- Lors d'un dédoublement du curseur, au lieu de visionner une moyenne ou une somme sur une unique carte, l'application pourrait afficher autant de cartes que d'unités sélectionnées (ex : si sur la glissière 1999, 1998 et 2000 sont sélectionnés alors on affichera trois cartes différentes : une par année au lieu de visionner la moyenne de ces trois années sur une seule carte).
- Ce même dédoublement de curseur utilisé pour la sélection de plusieurs membres pourrait conduire à l'exportation du résultat dans les mesures personnalisées. Le curseur temporel dès lors, devient un éditeur visuel de mesures personnalisées. En effet, il existe déjà des éditeurs de mesures conventionnelles (comme les assistants utilisés pour bâtir les requêtes SQL

dans les SIG) où l'on sélectionne les membres, l'opérateur à appliquer, les mesures à combiner... pour bâtir des membres personnalisés. Avec le curseur temporel, il serait désormais possible d'exporter ce type de mesures personnalisées facilement et visuellement.

- Enfin, dans son mode aléatoire, il serait judicieux d'enregistrer l'historique des années visualisées afin de pouvoir connaître à tout moment l'enchaînement visualisé et de revenir sur une séquence en particulier si l'on trouve une corrélation. Cet historique pourrait être visualisée sous la forme d'un « thumbnail ».

#### 4.5.1.3 L'arbre de navigation

Afin de voir si un membre est cartographié, on pourrait inclure un icône dans l'arbre de navigation symbolisant le type de représentation spatiale. Les PVL spatiaux seraient appropriés. En effet, ils symboliseraient la primitive spatiale utilisée pour chaque membre (voir figure ci-dessous). Dans le cas où celle-ci n'est pas représentée spatialement, il n'y aura donc pas d'icône. C'est un point important qui peut permettre de faciliter la compréhension globale de l'utilisateur : il connaît exactement le détail des éléments cartographiés.

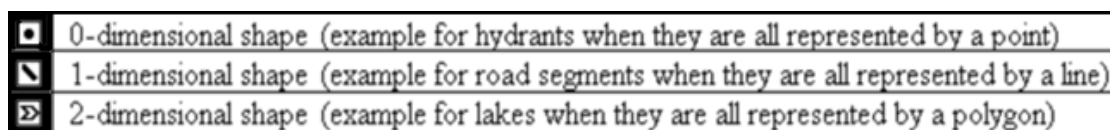


Figure 77 Une partie des PVL Spatiaux (Bédard 1999)

#### 4.5.1.4 Le calendrier

Le calendrier pourrait comporter le niveau : « Toutes années » qui serait représenté par autant de calendrier que d'années incluses dans ce niveau comme on peut le voir sur la figure ci-dessous. En cliquant sur une année, on accéderait à un calendrier en particulier.



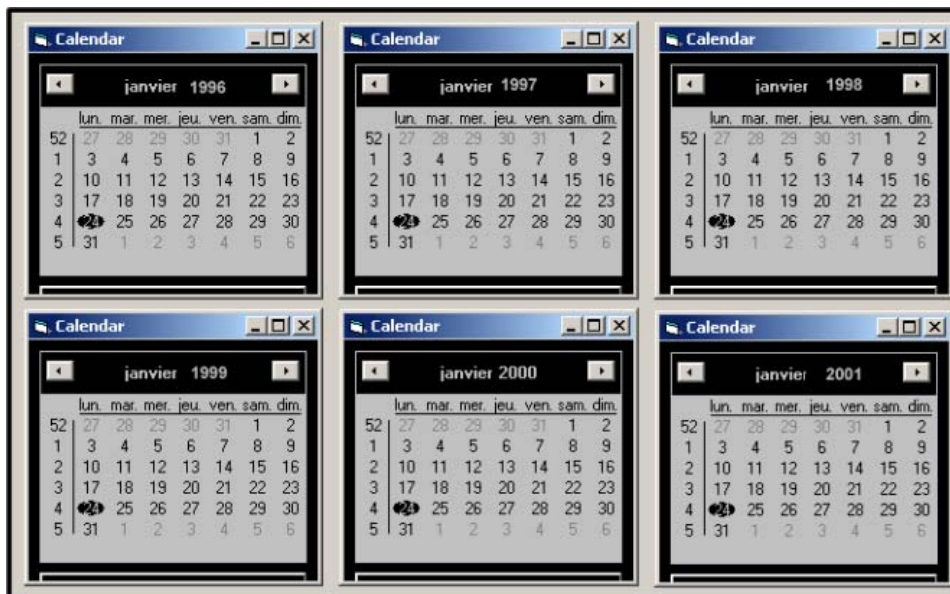


Figure 78 Dimension toutes années pour le calendrier

#### 4.5.1.5 La légende thématique conventionnelle

Quand on clique sur un intervalle de la légende thématique conventionnelle pour raffiner les intervalles de la thématique, deux réactions sont possibles :

- L'ouverture : on garde la relation avec les pères i. e. on visualise l'intervalle raffiné et les autres intervalles plus larges sur la même carte (c'est ce qui a été développé dans le prototype voir Figure 66). Prenons un exemple : Si on visualisait trois intervalles :  $[10 ; 20]$ ,  $[20,1 ; 30]$  et  $[30,1 ; 40]$  et que l'on clique sur  $[20,1 ; 30]$ , il se scinde en deux intervalles :  $[20,1 ; 25]$  et  $[25,1 ; 30]$  on visualise donc sur la carte quatre intervalles  $[10 ; 20]$ ,  $[20,1 ; 25]$ ,  $[25,1 ; 30]$  et  $[30,1 ; 40]$ .
- Le forage : seule l'intervalle cliqué est visualisé. Si on reprend l'exemple précédent: on visualisera donc deux intervalles après le clic :  $[20,1 ; 25]$  et  $[25,1 ; 30]$

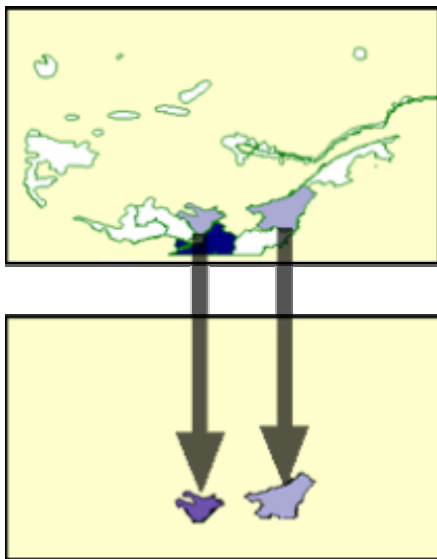


Figure 79 forage thématique (à dissocier de l'ouverture)

## 4.5.2 Les points soulevés au niveau du GUI

### 4.5.2.1 La légende thématique conventionnelle

À la place d'un bouton poussoir permettant de ne visualiser que l'indicateur en cours, il serait judicieux d'inclure un bouton radio par indicateur afin d'avoir une vision complète et de pouvoir accéder à l'indice qui nous intéresse d'une manière plus directe (un bouton radio pour « equal-count », un autre pour « standard deviation »...).

### 4.5.2.2 Charte graphique de la thématique

Quand on fait un « drill-down » thématique et que l'on raffine les catégories de la thématique, les différentes teintes de bleu sont difficiles à discerner. Pour palier à ce problème, plusieurs solutions sont envisageables:

- Changer de couleur ou bien surimposer une trame, mais dans ce cas la comparaison avec les « pères » devient impossible. Donc cette solution n'est pas encouragée.
- Proposer une étiquette colorée flottante lors d'un double cliquer pour permettre de comparer la couleur de la légende avec celle du polygone de la carte (voir figure ci-dessous). L'étiquette se déplace avec la souris, on peut donc la mettre en vis-à-vis de chaque polygone et détecter sans ambiguïté ceux qui appartiennent à cette catégorie.

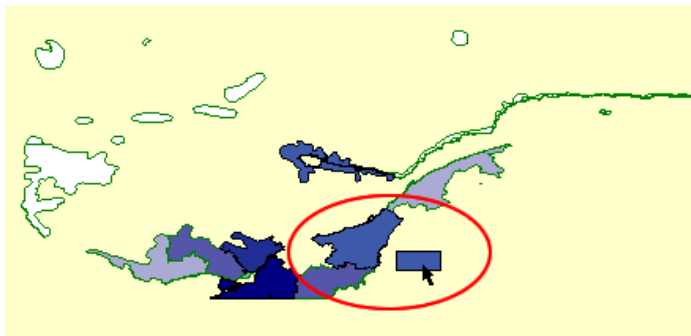


Figure 80 Vignette de comparaison

- Reprendre le principe de la peinture à numéro : Chaque sous-catégorie affichée possède un numéro distinct qui l'identifie de manière unique. On lève ainsi le doute sur l'ambiguïté des couleurs. La figure ci-après présente un exemple utilisant ce principe.

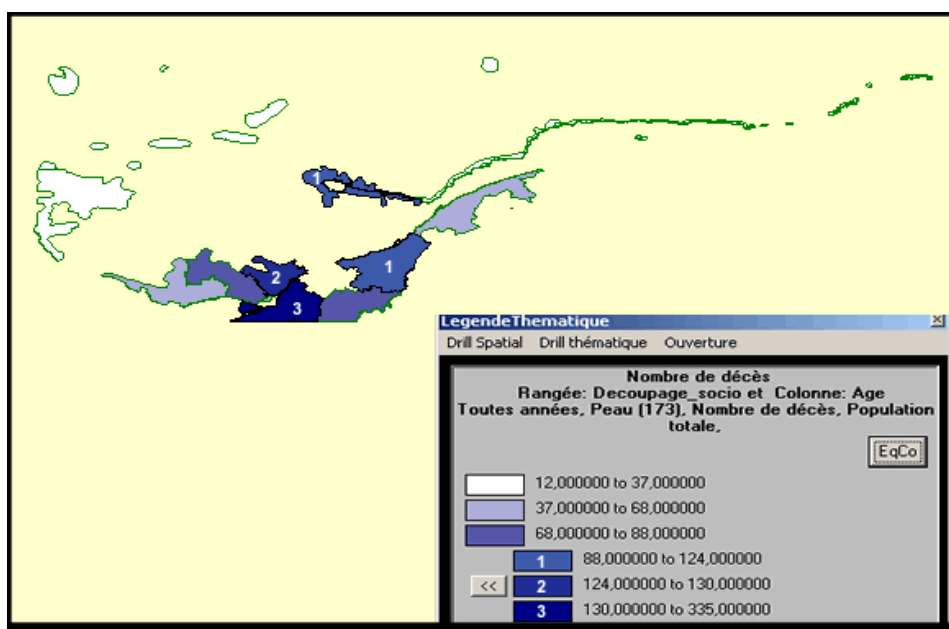


Figure 81 Principe de la peinture à numéro

- Jouer sur le contour : On dessine les contours du polygone d'une couleur différente afin d'attirer l'attention sur les nouvelles catégories ainsi créées (voir Figure 82). Il est à noter que chaque sous-catégorie pourrait avoir une couleur différente de contour pour bien se démarquer des autres. On remarque que ce principe n'est pas applicable au cas des lignes. En effet, une ligne ne possède pas de contours (on peut en rajouter un mais cela deviendrait peu esthétique et représentatif).

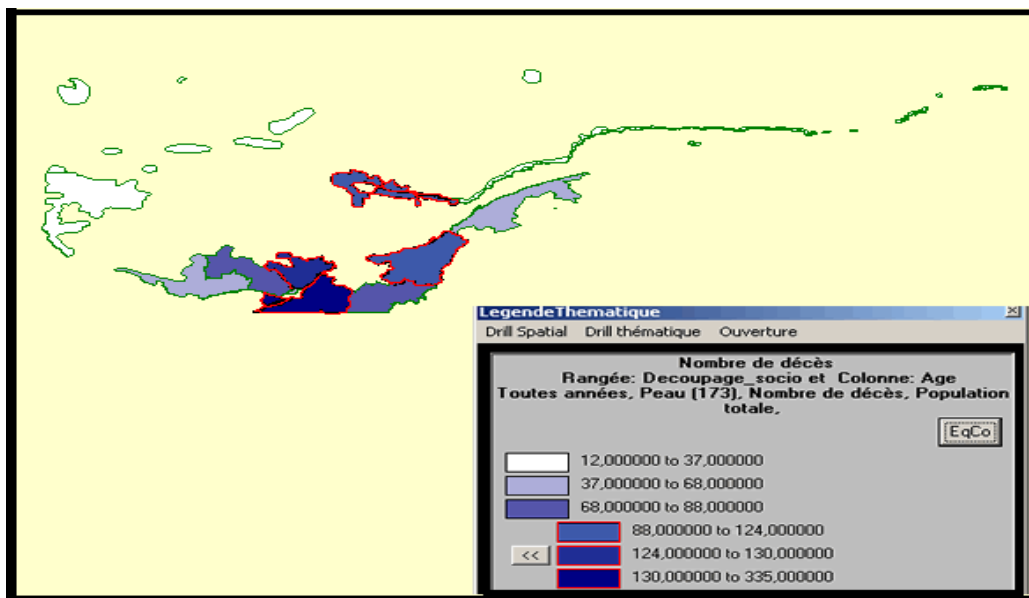


Figure 82 Forage dans un intervalle de la légende thématique

## 4.6 La synchronisation

Un aspect qui a été volontairement écarté tout au long de cette maîtrise mais qu'il convient de mentionner est la synchronisation entre la légende et les vues. En effet, l'utilisateur peut voir différentes représentations des données. Il se peut que dans la même session, il y soit affiché plusieurs cartes, avec plusieurs graphiques et plusieurs tableaux. Dans toutes ces vues, certaines représentent le même croisement des données dans l'hypercube (les mêmes membres ont été sélectionnés dans l'arbre de navigation) alors que d'autres traitent de données complètement différentes. Dans ce contexte de multi-fenêtrage, il devient intéressant de se demander comment savoir quelles représentations sont synchronisées ensemble. De plus, il faut savoir comment doit réagir chaque élément de la légende face à cette multitude de représentations. Plusieurs scénarios sont possibles pour synchroniser les différentes vues:

- La légende et la fenêtre active se cerclent de la même couleur. (Une légende pour plusieurs cartes comme le montre la figure suivante)
- Possibilité de faire apparaître une légende pour chaque fenêtre active (de couleurs différentes)
- Plusieurs légendes pour une seule carte.

Une interface complète devra proposer ces différents types de synchronisation. L'utilisateur choisira celle avec laquelle il est le plus à l'aise.

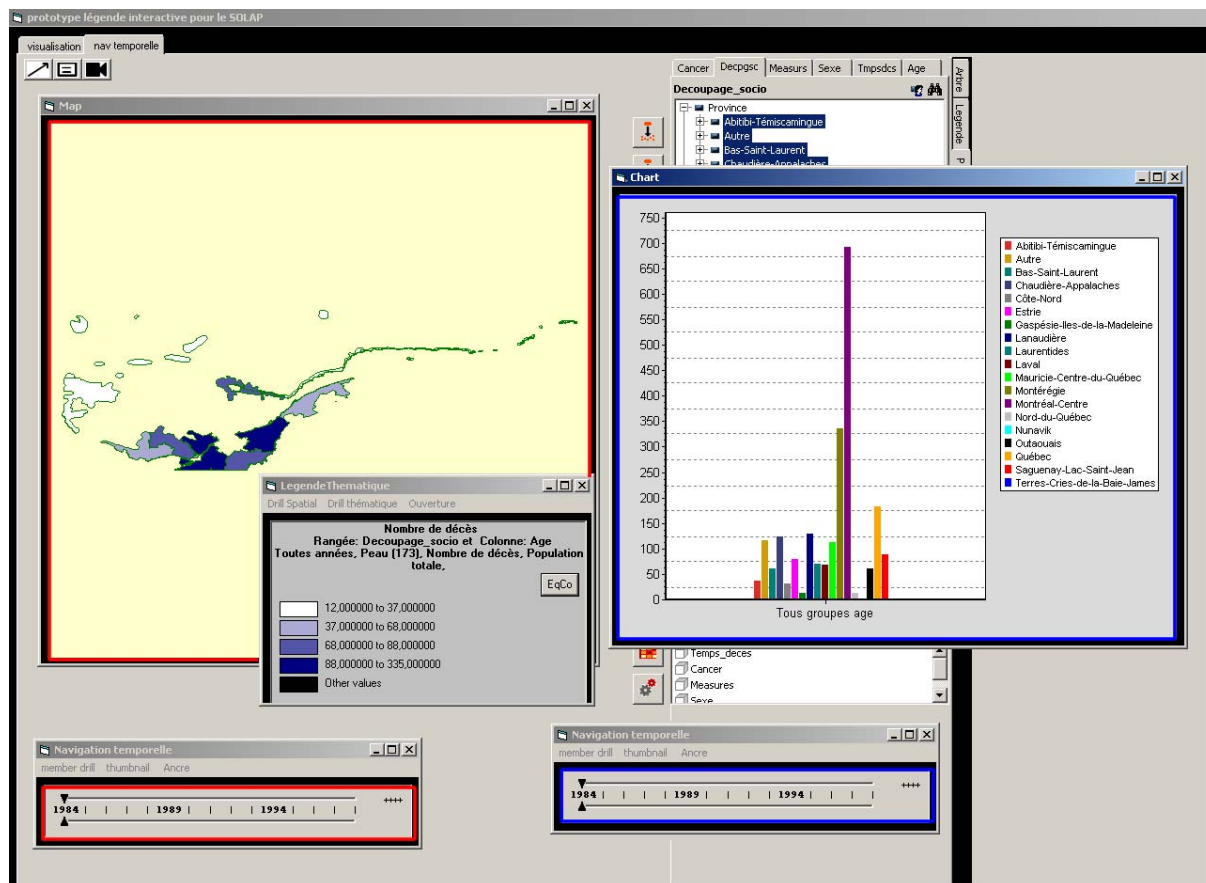


Figure 83 La synchronisation au niveau de la légende

On doit travailler avec des collections d'objets (les différentes représentations) synchronisées. Ainsi, si on déplace le curseur d'une glissière temporelle alors que j'ai deux représentations issues de la même collection qui s'animent.

On voit donc que le problème de synchronisation couplé à la légende interactive est complexe. Il ne sera pas plus traité dans cette maîtrise compte tenu du temps limité de celle-ci.

## Conclusion

Le SOLAP devient une application de plus en plus complète. Le nombre d'outils qu'il propose pour l'analyse décisionnelle des données est en augmentation. Il devient nécessaire de repenser l'interface à l'utilisateur si nous désirons garder la facilité du logiciel tout en incluant de nouvelles façons de naviguer.

Au cours de ce mémoire, nous sommes partis du postulat qu'une manière d'améliorer l'interface à l'utilisateur du SOLAP serait de proposer une légende interactive, ergonomique et adaptée aux besoins de l'exploration faite lors d'une analyse de type décisionnel.

Tout au long de cette recherche, nous avons été confrontés à une absence de littérature portant explicitement sur le sujet (les SOLAP étant trop nouveaux), à des corpus théoriques (on peut citer les domaines de la sémiologie graphique, des interfaces homme-machine, de la visualisation scientifique, de la cartographie dynamique, des SIG temporels) qu'il fallait adapter aux besoins de la légende du SOLAP (forage, navigation interne...). Il a été également nécessaire de bâtir une maquette puis un prototype permettant d'asseoir la discussion et d'illustrer la solution envisagée avec les groupes d'utilisateurs. Nous avons ainsi identifié l'ensemble des considérations à prendre en compte pour développer une légende interactive et utilisable. Nous avons également dû écarter les aspects de la légende se rapportant aux données représentées dans un tableau ou un graphique pour se concentrer sur une légende permettant d'illustrer l'état de la carte du SOLAP et d'y naviguer (ex. glissière temporelle). Pareillement, nous avons écarté l'aspect « modification de la symbolique ». En effet, le SOLAP pur ne doit pas permettre de modifier les cartes proposées, ce n'est pas un éditeur permettant d'améliorer le rendu pour imprimer de belles cartes. C'est avant tout un outil d'aide à l'analyse

Nous avons vu que cette légende permettait de faciliter certaines démarches exploratrices mais qu'en aucun cas elle ne pouvait supplanter les autres outils du SOLAP (l'arbre de navigation, le forage dans les vues...). Elle ne peut suffire à analyser et naviguer dans les différentes vues du SOLAP.

La légende interactive se positionne comme un nouveau type de vue graphique propre à la sémantique. A ce titre, comme il existe une navigation SOLAP propre à chaque vue, il est naturel de pouvoir naviguer dans la légende de la même manière.

Au cours de ce mémoire, nous avons montré qu'il n'existait pas une unique manière de représenter la légende. Elle peut être déclinée selon trois volets : le temps, l'espace et les mesures. Ces trois contextes différents conduisent à des légendes complètement distinctes ne comportant pas les mêmes types d'interactions. Nous avons vu qu'elles pouvaient prendre plusieurs aspects comme celui d'une glissière, d'un lecteur multimédia ou encore d'une légende plus conventionnelle (une catégorie en dessous de l'autre). Chaque forme comporte ses avantages et ses inconvénients. Après avoir identifié les considérations importantes à tenir compte pour chaque forme (schéma mental de l'utilisateur, manières de naviguer, mode de visualisation, éléments à intégrer...), nous avons choisi les plus adaptées au SOLAP et les plus réalisables dans le cadre d'une maîtrise.

Il a fallu ensuite bâtir un véritable SOLAP afin de faire la preuve des concepts avancés. Il y a donc eu un long développement informatique. Il a fallu partager le temps imparti pour cette maîtrise entre la recherche d'avenue de solutions théoriques et l'implantation de la légende dans un véritable SOLAP. Avant même de bâtir la légende interactive, il a été nécessaire de développer un vrai SOLAP en Visual Basic 6.0, c'est un long travail qui a duré plus d'une session et demie à temps plein. Nous avons ensuite implémenté différentes variantes de la légende. La faisabilité du concept de légende interactive a donc été démontrée dans le cas d'un vrai logiciel SOLAP s'appuyant sur un hypercube compilé à partir de données arrangées en étoile dans une base de données transactionnelle.

Lors de la présentation du prototype aux usagers, l'accueil enthousiaste de cette nouvelle légende force à constater qu'elle est pertinente et adaptée au logiciel. Cette confrontation a permis de soulever d'autres points, d'autres façons d'interagir avec l'utilisateur...

Finalement, cette recherche a rempli son objectif : identifier un ensemble de considérations à prendre en compte pour développer une nouvelle légende interactive et forable et ainsi apporter une piste de solution au problème d'interface à l'utilisateur.

Ces considérations ne sont pas exhaustives et proposent une solution parmi plusieurs. Le principal intérêt de cette recherche est davantage l'ensemble des réflexions et considérations mises de l'avant tout au long du mémoire pour arriver au résultat proposé que la solution proposée en elle-même. Ce sont ces réflexions théoriques et pratiques qui permettront d'améliorer l'interface à l'utilisateur de tout outil SOLAP grâce au nouveau concept de légende interactive et forable



## Bibliographie

L'usage de '\*' symbolise le fait que la référence est utilisée dans le mémoire.

- Abramowicz, W. and J. Zurada (2001). Knowledge discovery for business information systems. Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Agrawal, R. and P. Stolorz (1998). Proceedings. Menlo Park, Calif., AAAI Press.
- \*Allen, J. F. (1983). "Maintaining knowledge about temporal intervals." Communication of ACM **26(11)**.
- \*Andrienko, G. L. (1999). "Interactive Maps for visual data exploration." International Journal Geographic information science **13**: 355-374.
- Audet, E. (1999). Réingénierie [sic] des bases de données relationnelles pour la découverte d'informations décisionnelles.
- \*Baddeley (1986). Working memory. Oxford, Oxford University Press.
- \*Baddeley (1993). La mémoire humaine. Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.
- Bagot, j. (1996). information, sensation , perception, armand colin.
- Barquín, R. C. and H. Edelstein (1997). Planning and designing the data warehouse. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall PTR.
- \*Bédard (2002). Cours de fondements des SIG.
- \*Bédard, P. (2004). extrait du site perceptory.
- \*Bédard, Y. (1999). "Spatial Plug-in for Visual Languages."
- \*Bédard, Y. (1997). Spatial OLAP. 2ème Forum annuel sur la R-D, Géomatique VI: Un monde accessible, 13-14 novembre 1997, Montréal, Conférencier invité.
- Bédard, Y. (2002). Les outils OLAP spatiaux (SOLAP) au Centre de recherche en géomatique (CRG): État de la recherche. Animation scientifique de la Maison de la Télédétection, CEMAGREF-ENGREF, Montpellier, France.
- Bédard, Y. (2004).
- \*Bédard, Y., Merret, T. and Han (2000). Fundamentals of spatial data warehousing for geographic knowledge discovery. Geographic data mining and knowledge discovery, H. Miller and J. Han (Editors).
- Ben Jaafar, S. (1997). Systèmes d'information pour l'évaluation de programmes : Le Data Mining et le multicritère.

- Bentaleb, A. (1998). Le Data Warehouse et le Data Mining pour les réseaux neuronaux et les algorithmes génétiques : mise en oeuvre d'une stratégie par modélisation.
- Bernier, E. (2002). Utilisation de la représentation multiple comme support à la génération de vues de bases de données géospatiales dans un contexte SOLAP.
- Berry, M. J. A. and G. Linoff (1997). Data mining techniques : for marketing, sales, and customer support. New York, Wiley.
- Berry, M. J. A. and G. Linoff (2000). Mastering data mining : the art and science of customer relationship management. New York ; Toronto, Wiley Computer Pub.
- Bertin, J. Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes. Paris, Mouton.
- \*Bertin, J. and M. Barbut (1973). Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes. Paris, Mouton.
- Bertin, J. and M. Barbut (1998). Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes. Paris, École des hautes études en sciences sociales.
- \*Bestougeff H., L. G. (1989). Outils logique pour le traitement du temps, de la linguistique à l'intelligence artificielle.
- Body, M., Bédard et Al (2002). "Handling Evolutions in Multidimensional Structures."
- Borgelt, C. and R. Kruse (2002). Graphical models : methods for data analysis and mining. Chichester, John Wiley & Sons.
- \*Brisebois (2003). Analyse du potentiel d'extension du concept SOLAP pour l'exploration des données spatiales tridimensionnelles.
- \*Cadet, B. (1998). Psychologie cognitive.
- \*Caquard (2001). Multimedia Maps for Public Participation: Towards a New Conception of Cartography Applied to Water Managemen. CRENAM, Geography Dept, , University of Saint-Etienne.
- Caron, P.-Y. (1998). Étude du potentiel de OLAP pour supporter l'analyse spatio-temporelle.
- \*Cartwright, P. (1999). "Dynamic Elements of Multimedia Cartography."

- Chen, M.-S., P. S. Yu, et al. (2002). Advances in knowledge discovery and data mining : 6th Pacific-Asia conference, PAKDD 2002, Taipei, Taiwan, May 6-8, 2002 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Cheung, D., G. J. Williams, et al. (2001). Advances in knowledge discovery and data mining : 5th Pacific-Asia Conference, PAKDD 2001, Hong Kong, China, April 16-18, 2001 : proceedings. Berlin, Springer.
- Codd, E.F.; Codd, S.B.; Salley, C.T.(1993): Providing OLAP (Online Analytical Processing) to User-analysts: An IT Mandate,
- Cognos (2003). visualizer de Cognos.
- Dasgupta, S. (2001). Managing internet and intranet technologies in organizations : challenges and opportunities. Hershey, Pa., Idea Group Pub.
- \*Dibiase, M., Krygier and Reeves (1992). Animation and the role of map design in scientific visualization. Cartography and GIS: 201-204.
- Ebecken, N. F. F. (1998). Data mining. Boston, WIT Press/Computational Mechanics Publications.
- Ebecken, N. F. F. and C. A. Brebbia (2000). Data mining II. Southampton ; Boston, WIT Press.
- \*Encarta (1997). encyclopédie Encarta.
- \*Faivre R., L. S., Monestiez P., Triboulet P. (1999). "formalisation de processus spatio-temporels." revue internationale de géomatique **8 n 4/98**.
- Fan, J. (2002). Indexing performance issues in data warehouse software management.
- Fayyad, U. M. (1996). Advances in knowledge discovery and data mining. Menlo Park, Calif., AAAI Press : MIT Press.
- \*Fleming, J. (1998). "Interface and interaction design."
- Fournier, m. C. r.-p. (1997). La recherche en sciences et genie-guide pratique et méthodologique, Les presses de l'université Laval.
- Franco, J. M. (1997). Data Warehouse : le data mining. Paris, Eyrolles.
- \*Franklin, N. (1992). Representation of spatial information in described routes: Distance, turns, and objects. Unpublished manuscript.

- Gosselin, P., Y. Bédard, R. Catelan, P. Normand (1999). Interface cartographique pour l'exploration multidimensionnelle des indicateurs de santé environnementale sur le World Wide Web. Conférence présentée au séminaire du centre de recherche en géomatique.
- \*Gosselin, P. B., Y. Gagnon, M.-F. Lebel, G. Nadeau, M. Proulx, M.-J (2001). "Interface Cartographique pour l'Exploration Multidimensionnelle des indicateurs de Santé Environnementale sur le World Wide Web."
- Gouarné, J.-M. (1998). Le Projet décisionnel : enjeux, modèles et architectures du Data Warehouse. [Paris], Ed. Eyrolles.
- \*Gould (1987). Time's arrow, time's cycle. Myth and Metaphor in the discovery of geological time. Cambridge, Harvard university press.
- Gray, P. and H. J. Watson (1998). Decision support in the data warehouse. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall PTR.
- Hastie, T., R. Tibshirani, et al. (2001). The elements of statistical learning : data mining, inference, and prediction. New York, Springer.
- \*Hearnshaw, d. m.-s. h. M. (1993). human factors in geographical information system, belhaven press.
- Heckerman, D. and American Association for Artificial Intelligence (). Proceedings of the Third International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Menlo Park, Calif., AAAI Press.
- Imielinski, T., L. Khachiyan, et al. (2002). "Cubegrades: Generalizing association rules." Data mining and knowledge discovery 6(3): 219 - 257.
- \*Intergraph (2003). Geomedia professional help.
- J.G Hollands, I. S. (2001). The Discrimination of Graphical Elements. Applied cognitive psychologie: 413-431.
- Jürgens, M. (2002). Index structures for data warehouses. Berlin ; New York, Springer.
- Kahneman, d. and a. tversky (1972). subjective probability: a judgment of representativeness: 430 454.
- Kambayashi, Y. (1999). Advances in database technologies : ER '98 Workshops on Data Warehousing and Data Mining, Mobile Data Access, and Collaborative Work Support and Spatio-Temporal Data Management, Singapore, November 19-20, 1998 : proceedings. New York, Springer.

- Keim, D. A. (1997). Visual Techniques for Exploring Databases. Invited Tutorial, Int. Conference on Knowledge Discovery in Databases (KDD'97), Newport Beach ca, Institute for computer Science, university of Halle-Wittenberg.
- Kendal, s. (2001). UML explained, Addison wesley.
- Kerschberg, L. (2001). "Guest editor introduction: Scientific and statistical database management." journal of intelligent information system **17**(2-3): 103 - 105.
- Kimball, R. (1996). The data warehouse toolkit : practical techniques for building dimensional data warehouses. New York, John Wiley & Sons.
- Kimball, R. (1997). Entrepôts de données : guide pratique du concepteur de "data warehouse". Paris, International Thomson Pub. France.
- Kimball, R. and M. Ross (2002). The data warehouse toolkit : the complete guide to dimensional modeling. New York, John Wiley & Sons.
- Klösgen, W. and J. M. \*Zytow (2001). Handbook of data mining and knowledge discovery. Oxford ; New York, Oxford University Press.
- Komorowski, J. and J. M. \*Zytow (1997). Principles of data mining and knowledge discovery : First European Symposium, PKDD '97, Trondheim, Norway, June 24-27, 1997 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Laarabi, A. (1994). Système d'information géographique et analyse multicritère: Intégration pour l'aide à la décision à référence spatiale. géomatique. Quebec, Laval.
- \*Lardon, L., Cheylan (1999). Concevoir la dynamique des entités spatio temporelles. Représentation de l'espace et du temps dans les SIG. c.-G. TempsXEspace, hermes. **v 9 n 1/1999**.
- \*Larousse (1997). Le petit Larousse.
- Lau, H., R. Ip, et al. (2002). "An intelligent information infrastructure to support knowledge discovery." Expert systems with applications **22**(1): 1 - 10.
- Lau, H., B. Jiang, et al. (2001). "Development of an intelligent data-mining system for a dispersed manufacturing network." EXPERT SYSTEMS **18**(4): 175 - 185.
- Lebel, G, L, G et Gagnon (1998) Etude descriptive de l'incidence du cancer de 1989 à 1993, Centre hospitalier universitaire de Québec
- Leung, K. S., L.-w. Chan, et al. (2000). Intelligent data engineering and automated learning - IDEAL 2000 : data mining, financial engineering, and intelligent

- agents : Second International Conference, Shatin, N.T., Hong Kong, China, December 13-15, 2000 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Lin, T. Y. and N. Cercone (1997). Rough sets and data mining : analysis for imprecise data. Boston, Mass, Kluwer Academic.
- Liu, H. and H. Motoda (2001). Instance selection and construction for data mining. Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Liu, H., T. Terano, et al. (2000). Knowledge discovery and data mining : current issues and new applications ; 4th Pacific-Asia Conference, PAKDD 2000, Kyoto, Japan, April 18-20, 2000 ; proceedings. Berlin ; London, Springer.
- Lock, G. R. and K. Brown (2000). On the theory and practice of archaeological computing. Oxford, Oxford University Committee for Archaeology ; Oxbow Books.
- MacEachren (1992). How maps work: Representation, visualization and design.
- \*MacEachren (1994). "Visualization in Modern Cartography."
- Marakas, G. M. (1999). Decision support systems in the twenty-first century. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall.
- \*Marchand, P. (2003). Exploration & Analysis of Spatio-Temporal Databases for Spatio-Temporal Data Warehousing.
- Masand, B. and M. Spiliopoulou (2000). Web usage analysis and user profiling : International WEBKDD'99 Workshop, San Diego, CA, USA, August 15, 1999 : revised papers. Berlin ; New York, Springer.
- Meña, J. and NetLibrary Inc. (1999). Data mining your website. Boston, Digital Press.
- \*Miller (1956). "Le nombre magique 7+/-2 : quelques limites de notre capacité de traitement de l'information."
- Moeller, R. A. (2001). Distributed data warehousing using Web technology : how to build a more cost-effective and flexible warehouse. New York ; Toronto, Amacom.
- Montmollin, M. d., P. Morin, et al. (1970). Recherches expérimentales de sémiologie graphique = Experimental research in graphic semiology. Paris, Métra.
- \*Newell (1972,1990). "One Damn Task After Another."
- \*Nielsen, J. (1999). When Bad Design Becomes the Standard. Alertbox.

- Nielsen, R. M. a. J. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. CHI'90. New York: pages 349-356.
- \*OLF (1988). Le grand dictionnaire terminologique.
- \*Ost, F. (1997). Déployer le temps. Les conditions de possibilité du temps social.
- Perner, P. (2001). Machine learning and data mining in pattern recognition : second International Workshop, MLDM 2001, Leipzig, Germany, July 25-27, 2001, proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Perner, P. and M. Petrou (1999). Machine learning and data mining in pattern recognition : first International Workshop, MLDM'99, Leipzig, Germany, September 16-18, 1999, proceedings. Berlin, Springer.
- \*Peterson, M. P. (1995). Interactive and animated cartography.
- \*Peuquet, D. J. (2000). Apoala Project.
- \*Peuquet, D. J. (2002). Representations of Space and Time. New York.
- \*Peuquet, R. E. a. D. (1997). a graphical user interface for the integration of time into GIS. Seattle.
- \*Proulx, B. e. (2001). Document technique ICEM/SE.
- Proulx, M., Bédard, Y, Nadeau, M., Gosselin, P., Lebel, G. (2002). Géomatique et santé environnementale: innovations résultant du projet ICEM/SE, ... Géomatique 2002, Montréal.
- Raedt, L. d. and A. Siebes (2001). Principles of data mining and knowledge discovery : 5th European conference, PKDD 2001, Freiburg, Germany, September 3-5, 2001 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Reinartz, T. (1999). Focusing solutions for data mining : analytical studies and experimental results in real-world domains. Berlin, Springer.
- \*Rémi, J. (1996). "Étude sur la sémiologie graphique applicable à la cartographie dynamique."
- \*Rivest, S. (2000). investigation des modes d'integration physique entre un serveur de base de données multidimensionnelle et un SIG.
- \*Rivest, S., Y. Bedard, et al. (2001). "Toward better support for spatial decision making: defining the characteristics of spatial on-line analytical processing (SOLAP)." geomatica **55 n°4**: 539-555.

- Roddick, J. F. and K. Hornsby (2001). Temporal, spatial, and spatio-temporal data mining : first international workshop, TSDM 2000, Lyon, France, September 12, 2000 : revised papers. Berlin, Springer.
- Rud, O. P. (2001). Data mining cookbook : modeling data for marketing, risk, and customer relationship management. New York ; Toronto, John Wiley & Sons Inc.
- Sarawagi, S. (2001). "User-cognizant multidimensional analysis." VLDB JOURNAL **10**(2-3): 224 - 239.
- \*Schwer, S. R. (1995). "Structures temporelles pour les bases de données. Etat de l'art." RR LIPN URA CNRS 1507.
- Seidman, C. (2001). "Data mining with Microsoft SQL Server 2000."
- Selden, C. and National Library of Medicine (États-Unis). Reference Section. (2001). Public health informatics January 1996 through December 2000 : 441 citations. Bethesda, Md. (8600 Rockville Pike), U.S. Dept. of Health and Human Services Public Health Service National Institutes of Health National Library of Medicine Reference Section.
- Silverston, L., W. H. Inmon, et al. (1997). The data model resource book : a library of logical data models and data warehouse designs. New York, Wiley.
- Simoudis, E., J. Han, et al. (1996). KDD-96 : proceedings. Menlo Park, Calif., AAAI Press.
- \*Snodgrass (1992). temporal databases. Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space.
- \*Stefanovic, N., Han, J. and Koperski, K., . (2000). "Object-based selective materialization for efficient Implementation of spatial data cubes." IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, **12**(6).
- \*Stonebraker, R., Hirohama (1990). The implementation of POSTGRES. IEEE Transactions on knowledge and data engineering.
- \*Theriault, C. (1999). La représentation du temps et des processus dans les SIG. Représentation de l'espace et du temps dans les SIG. c.-G. TempsXEspace, hermes. **v 9 n 1/1999**.
- Tufte, E. R. (1984). The visual Display of quantitative Information.
- Wong, M. L. and K. S. Leung (2000). Data mining using grammar based genetic programming and applications. Boston, Kluwer Academic.



- Wu, X., R. Kotagiri, et al. (1998). Research and development in knowledge discovery and data mining : Second Pacific-Asia Conference, PAKDD-98, Melbourne, Australia, April 15-17, 1998 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Zaki, M. J. and C.-T. Ho (2000). Large-scale parallel data mining. Berlin, Springer.
- Zanasi, A. (2002). Data mining III. Boston WIT Press,.
- Zhong, N., A. Skowron, et al. (1999). New directions in rough sets, data mining, and granular-soft computing : 7th International Workshop, RSFDGrC'99, Yamaguchi, Japan, November 9-11, 1999 : proceedings. New York, Springer-Verlag.
- Zhong, N. and L. Zhou (1999). Methodologies for knowledge discovery and data mining : Third Pacific-Asia Conference, PAKDD-99, Beijing, China, April 26-28, 1999 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Zighed, D. A., J. Komorowski, et al. (2000). Principles of data mining and knowledge discovery : 4th European Conference, PKDD 2000, Lyon, France, September 13-16, 2000 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Zytkow, J. M. and M. Quafafou (1998). Principles of data mining and knowledge discovery : Second European Symposium, PKDD '98, Nantes, France, September 23-26, 1998 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.
- Zytkow, J. M. and J. Rauch (1999). Principles of data mining and knowledge discovery : Third European Conference, PKDD'99, Prague, Czech Republic, September 15-18, 1999 : proceedings. Berlin ; New York, Springer.

## Annexe A

### Extrait de l'étude descriptive de l'incidence du cancer de 1989 à 1993 pour le calcul des taux standardisés et rapport de taux standardisés (Lebel 1998)

#### 2.4 Calcul des taux et des rapports de taux

Pour chaque siège et regroupement de sièges de cancer (3 premières positions du code CIM-9), les taux standardisés pour l'âge ont été calculés pour chaque sexe, par territoire de CLSC. Pour les sièges de cancer retenus, les taux standardisés pour l'âge, selon le sexe, ont été calculés également par RSS, et pour les différents regroupements des municipalités, selon certaines caractéristiques environnementales. Les rapports de taux standardisés (RTS) sont utilisés pour la représentation cartographique par territoire de CLSC. Par ailleurs, pour l'ensemble du territoire à l'étude, le calcul des taux annuels standardisés pour l'âge, chez les populations adultes et chez les jeunes, pour chacun des sièges de cancer à l'étude, a été effectué sur l'ensemble des données (localisées ou non) du «Fichier des tumeurs du Québec». Les taux annuels standardisés sont présentés pour la période de 1984 à 1993.

#### 2.4.1 Calcul des taux standardisés d'incidence et de mortalité

Le calcul des taux standardisés a été réalisé à l'aide du logiciel SAS. Les taux standardisés d'incidence et de mortalité sont calculés selon la méthode directe. Compte tenu des objectifs spécifiques de ce projet, la méthode de standardisation directe est la méthode la plus appropriée. Elle permet en effet de comparer les taux d'une unité géographique à une autre, même si les structures d'âge sont différentes, car les taux sont ajustés pour une structure d'âge commune. La méthode indirecte permet également de comparer les taux, mais sous certaines conditions très restrictives, c'est-à-dire que les structures d'âge pour toutes les unités géographiques soient les mêmes.<sup>37</sup> Ainsi, pour un siège de cancer donné, l'équation utilisée pour le calcul du taux standardisé pour l'âge, pour un territoire, est la suivante :

$$TS_j = \sum_i w_i \frac{d_{ij}}{n_{ij}}$$

où :	$TS_j$	=	Taux standardisé pour l'âge pour le territoire $j$
	$i$	=	Groupe d'âge
	$w_i$	=	Poids pour le groupe d'âge $i$
	$d_{ij}$	=	Nombre de nouveaux cas, ou nombre de décès, pour le siège de cancer, pour le groupe d'âge $i$ dans le territoire $j$
	$n_{ij}$	=	Personnes-années pour le territoire $j$ et le groupe d'âge $i$ (somme des effectifs de population de 1989 à 1993)

Chez la population adulte, les taux selon le sexe sont standardisés pour l'âge (même système de poids chez les hommes et les femmes). Les groupes d'âge utilisés, pour la population adulte, sont : 15-19 ans, 20-24 ans..., 75 ans et plus (Tableau 10). Chez les enfants (moins de 15 ans), les taux sont standardisés pour l'âge (sans tenir compte du sexe). Trois groupes d'âge ont été utilisés pour les enfants soit : 0-4 ans, 5-9 ans et 10-14 ans. Les systèmes de poids, chez les adultes et les enfants, sont basés sur la répartition de la population selon l'âge (sans tenir compte du sexe), du territoire à l'étude entre 1989 et 1993 (somme des cinq années) (Tableau 10).

Tableau 10 : Systèmes de poids utilisés pour la standardisation des taux

A. Population de moins de 15 ans		B. Population de 15 ans et plus	
Groupe d'âge (ans)	Poids	Groupe d'âge (ans)	Poids
0-4	0.3247	15-19	0.0821
5-9	0.3274	20-24	0.0897
10-14	0.3479	25-29	0.1107
<b>Total</b>	<b>1.0000</b>	30-34	0.1169
		35-39	0.1074
		40-44	0.0970
		45-49	0.0814
		50-54	0.0637
		55-59	0.0580
		60-64	0.0555
		65-69	0.0482
		70-74	0.0362
		≥ 75	0.0532
		<b>Total</b>	<b>1.0000</b>

### 2.4.2 Calcul des rapports de taux standardisés

Le rapport des taux standardisés (pour l'âge) d'incidence ou de mortalité est défini comme le rapport du taux standardisé d'un territoire ( $TS_{j1}$ ), sur le taux standardisé d'un autre territoire ( $TS_{j2}$ ).

$$RTS_{j1} = \frac{TS_{j1}}{TS_{j2}}$$

Pour un territoire  $j1$ , sous l'hypothèse nulle ( $H_0 : RTS_{j1} = 1$ ), la statistique suivante  $z$  :

$$z = \frac{\ln TS_{j1} - \ln TS_{j2}}{\sqrt{\text{Variance}(\ln RTS_{j1})}}$$

suit une distribution normale (0,1). La valeur  $p$ , correspondante à la valeur calculée de  $z$ , est obtenue à partir de la distribution normale. Soulignons que pour conclure à une différence significative entre le taux d'un territoire  $j1$  et celui d'un territoire  $j2$  ( $RTS_{j1} \neq 1$ ), le seuil utilisé est de  $\alpha = 1\%$  ( $p < 0.010$ ). Ce seuil a été choisi compte tenu des nombreuses comparaisons qui sont effectuées.

La variance du logarithme népérien de  $RTS_{j1}$ , nécessaire pour le calcul de  $z$ , est définie par :

$$\text{Variance}(\ln RTS_{j1}) = \frac{\text{Variance } TS_{j1}}{TS_{j1}^2} + \frac{\text{Variance } TS_{j2}}{TS_{j2}^2}$$

avec :

$$\text{Variance } TS_j = \sum_i W_i^2 \frac{d_{ij}}{n_{ij}^2}$$

Cette méthode de calcul a été appliquée pour comparer : le taux standardisé des territoires de CLSC à celui de la province ; le standardisé des RSS à celui de la province ; le taux standardisé de l'ensemble des municipalités riveraines à celui des municipalités riveraines ; le taux standardisé des municipalités selon le type de traitement de l'eau de consommation ; et finalement, le taux standardisé selon la source d'approvisionnement en eau potable. De manière plus spécifique, les calculs de RTS suivants ont été réalisés

- pour un territoire de CLSC :

$$RTS_{CLSC} = \frac{TS_{CLSC}}{TS_{Province}}$$

- pour un territoire de RSS :

$$RTS_{RSS} = \frac{TS_{RSS}}{TS_{Province}}$$

- pour l'ensemble des municipalités riveraines au Saint-Laurent :

$$RTS_{Riveraines} = \frac{TS_{municipalités\ riveraines}}{TS_{municipalités\ non\ riveraines}}$$

- pour l'ensemble des municipalités dont une partie de la population reçoit de l'eau potable traitée à l'aide du procédé de la chloration :

$$RTS_{1-80\% / 0\%} = \frac{TS_{municipalités\ dont\ 1\ à\ 80\% \ de\ la\ population\ reçoit\ de\ l'eau\ chlorée}}{TS_{municipalités\ qui\ n'utilisent\ pas\ la\ chloration}}$$

- pour l'ensemble des municipalités dont une majorité de la population reçoit de l'eau potable traitée à l'aide du procédé de la chloration :

$$RTS_{81-100\% / 0\%} = \frac{TS_{municipalités\ dont\ 81\ à\ 100\ \% \ de\ la\ population\ reçoit\ de\ l'eau\ chlorée}}{TS_{municipalités\ qui\ n'utilisent\ pas\ la\ chloration}}$$

- pour l'ensemble des municipalités s'approvisionnant en eau potable dans le fleuve Saint-Laurent :

$$RTS_{Fleuve} = \frac{TS_{municipalités\ s'approvisionnant\ au\ fleuve\ Saint-Laurent}}{TS_{municipalités\ s'approvisionnant\ à\ d'autres\ sources}}$$

Afin de mesurer la stabilité des taux standardisés, le coefficient de variation a été utilisé. Le coefficient de variation d'un tau défini comme le rapport de l'écart-type du taux sur sa moyenne, soit le taux. La formule utilisée est :

$$\text{Coefficient de variation } TS_j = \frac{\sqrt{\sum_i w_i^2 \frac{d_{ij}^2}{n_{ij}^2}}}{TS_j}$$

## Annexe B

### Description du contexte des données

#### projet ICEMSE

##### *Le projet de recherche ICEM/SE*

Le projet de recherche ICEM/SE, avait un double objectif. Il fallait répondre à des besoins du domaine de la santé environnementale en essayant de relever des défis de nature géomatique.

Au départ, le projet devait permettre d'améliorer la prise de décision et les interventions dans le domaine de la santé environnementale par la découverte de nouvelles connaissances en facilitant l'élaboration et la validation de nouvelles hypothèses de recherche. Pour ce faire, il fallait améliorer les opérations de surveillance en santé environnementale par l'accès à des données de haute qualité. Un grand travail de cueillette de données et d'intégration a alors été fait afin de définir près de 20 indicateurs de santé environnementale permettant de produire des analyses (cf. tableau 1).

Ces indicateurs avaient la particularité d'être très hétérogènes en termes de résolution spatiale et de couverture temporelle. Par exemple, les données de l'indicateur de la qualité de l'air sont disponibles à partir de 1975 tandis que les données des substances rejetées le sont à partir de 1989. Ces deux indicateurs sont différents d'autant plus qu'ils possèdent une géométrie ponctuelle définie différemment (i.e. stations d'échantillonnage versus industries polluantes). La même chose se présente dans les indicateurs de santé où les taux de mortalité diffèrent en terme de couverture temporelle des taux d'incidence. Cette caractéristique propre à notre jeu de données spatio-temporelles a mené au choix d'une architecture multidimensionnelle qui permet de stocker les valeurs calculées seulement pour les combinaisons possibles dans notre jeu de données.

Indicateurs environnementaux	Résolution spatiale i.e. plus petite région couverte	Couverture temporelle par
------------------------------	--	---------------------------

		années
1- Substances altérant la couche d'ozone (par concentration)	Pays	1979- ...
2- Substances altérant la couche d'ozone (par type de substances)	Province	1993- ...
3- Gaz à effet de serre	Province	1990-1994
4- Ventes de crème solaire	Province	1994-1995
5- Ventes d'engrais	Pays	1992-1995
6- Exposition au soleil	Province	1996
7- Contamination	Terrain contaminé	1993-...
8- Collecte sélective	Municipalité	1995-1997
9- Ventes de pesticides	Subdivision de recensement agricole	1981, 1886, 1991, 1996
10- Perception de la qualité des eaux	Région sociosanitaire	1996
11- Qualité de l'air	Station d'échantillonnage	1975-...
12- Substances rejetées (INRP)	Industrie	1993-...
13- Fertilisants	Bassin versant	1995
14- Qualité de l'eau	Station d'approvisionnement	1989-1993
<b>Indicateurs de santé</b>		
15- Taux de mortalité des maladies de l'appareil respiratoire	Territoire de CLSC	1984-...
16- Taux d'hospitalisation des maladies de l'appareil respiratoire et de l'asthme	Territoire de CLSC	1991-1996
17- Taux de visite à l'urgence pour l'asthme	Territoire de CLSC	1992, 1994, 1996
18- Taux d'incidence des cancers	Territoire de CLSC	1989-1995
19- Taux de mortalité des cancers	Territoire de CLSC	1984-1996
20- Taux de prévalence des rhinites allergiques	Région sociosanitaire	1998
21- Cas d'intoxications et appels d'intoxications	Région sociosanitaire	1987-...

Tableau 1 Résolution spatiale et couverture temporelle des indicateurs environnementaux et de santé du projet ICEM/SE.