



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is a publisher's version in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 16286

To link to this report :

URL : http://www.foretsanciennes.fr/wp-content/uploads/Vallauri_et_al_2012.pdf

To cite this version :

Vallauri, Daniel and Grel, Audrey and Granier, Evelyne and Dupouey, Jean-Luc *Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles.* (2012) [Report]

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr



RAPPORT
2012

LES FORÊTS DE CASSINI

Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles

Daniel Vallauri, Audrey Grel,
Evelyne Granier et Jean-Luc Dupouey

Citation conseillée :

Vallauri D., Grel A., Granier E., Dupouey J.L. 2012. Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles. Rapport WWF/INRA, Marseille, 64 pages + CD.

Remerciements :

Les auteurs souhaitent remercier très chaleureusement :

- Colette Favre (INRA) pour son apport technique lors de la comparaison des forêts de Cassini avec celles d'autres cartes de la même époque ;
- Bernard Bèzes (IGN) pour avoir mis à notre disposition les minutes de la carte ;
- Serge Aberdam (INRA) et Mireille Touzery (Université Paris-Est) pour leur aide concernant le cadastre de la Généralité de Paris ;
- Michel Bartoli, Guillaume Decocq (Université de Picardie) et Laurent Larrieu (INRA/CRPF Midi Pyrénées) pour leurs remarques sur tout ou partie du document ;
- le CRIGE-PACA pour la fourniture des données MNT et de la carte IFN du département du Var ;
- Magali Rossi (WWF) pour sa relecture attentive du manuscrit ;
- les partenaires financiers ayant contribué à cette étude, notamment le Ministère de l'Ecologie, dans le cadre de l'appui régulier au programme du WWF sur les forêts anciennes de Méditerranée et des montagnes limitrophes.

« La carte est simultanément un lieu, un voyage et un concept mental ; abstrait et figuratif ; lointain et intime. Les cartes sont comme des instantanés d'un voyage, un arrêt sur image. La fascination que nous éprouvons pour elles doit avoir un rapport avec notre besoin de posséder une vue d'ensemble, de se repérer et de comprendre où nous sommes ».

Lucy Lippard

« Le passé est un pays étranger ; là-bas, les choses se font autrement ».

Leslie Poles Hartley



LES FORÊTS DE CASSINI

Analyse quantitative et comparaison aux forêts actuelles

Daniel Vallauri¹, Audrey Grel², Evelyne Granier³ et Jean-Luc Dupouey³

INTRODUCTION



Figure 1. Un extrait de la première feuille de la carte : les forêts autour de Paris (1749).

En 1747, le roi Louis XV missionne Cassini pour entreprendre une « Carte générale de la France ». Les objectifs principaux étaient de finaliser la mesure du royaume et de déterminer le nombre et la position des villages, villes, rivières et routes principales. En moins de 40 ans, 96% de la surface actuelle de la France, mais également 1,8 million d'ha proche de la frontière, ont été cartographiés (pour plus de détails, voir Pelletier, 1990). Utilisée régulièrement par les forestiers pour obtenir une idée de l'histoire forestière d'une région (figure 1), cette carte n'avait jamais été analysée globalement avec des méthodes modernes (S.I.G.).

OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Cette étude cherche à combler cette lacune, avec l'objectif particulier d'explorer et spécifier les forces et limites de cette carte pour des usages possibles variés, tels que : identification des forêts anciennes, études de la dynamique des paysages, de l'impact de l'ancienneté sur la biodiversité, la dynamique et la fertilité des écosystèmes actuels...

Utilisant les 181 feuilles au 1:86 400 de la carte de Cassini géolocalisée, nous avons digitalisé l'ensemble des contours forestiers, quelle que soit leur surface. Au-delà de la discussion de nombreuses questions d'ordre méthodologique (erreurs géométriques de la carte, qualité et exhaustivité de la représentation des forêts...), qui sont discutées dans le rapport complet (Vallauri *et al.* 2011), les polygones forestiers (près de 50 000) donnent une vision synthétique des forêts du royaume de France durant la seconde moitié du XVIII^e siècle.

LES FORÊTS FRANÇAISES AU XVIII^e SIÈCLE



Figure 2. Carte des forêts de Cassini. Cette couche SIG est disponible, à l'échelle régionale et nationale, libre de droits pour toute utilisation.

Sur les 54,5 millions d'ha couvert par la carte, 7,1 millions d'ha sont boisés, soit un taux de boisement de 13%. Sur le territoire français actuel couvert par la carte (52,6 millions d'ha), le taux de boisement est identique, avec 6,6 millions d'ha de forêts. Comparés aux statistiques rassemblées lors du premier relevé cadastral, entrepris quelques décennies après, ces chiffres apparaissent significativement plus faibles, d'au moins 20%. Assurément, les petits bois n'ont pas toujours été cartographiés par Cassini, comme nous pouvons l'observer en comparant la carte de Cassini avec d'autres cartes d'utilisation des sols indépendantes et contemporaines.

La couverture forestière était très hétérogène, avec des régions presque entièrement déboisées comme le centre de la France (figure 2). Ardennes, Lorraine, Alsace, Franche-Comté, Bourgogne, mais également le Var par exemple, étaient les régions les plus forestières à cette époque (>25%), alors que l'Auvergne et le Limousin étaient fortement déboisées.

Tableau 1. Surface et pourcentage de forêts sur la carte de Cassini et aujourd'hui (CLC 2006). Tous les pourcentages sont calculés sur la base du territoire français du XVIII^e siècle.

	Les forêts sur la carte de Cassini		Forêts actuelles		Forêts anciennes
	km ²	%	km ²	%	
Alsace	2 562	30,7%	3 362	40,3%	1 967
Aquitaine	3 730	8,9%	18 579	44,3%	2 453
Auvergne	2 325	8,9%	7 742	29,5%	1 224
Basse-Normandie	1 282	7,2%	1 519	8,5%	628
Bourgogne	8 340	26,3%	9 710	30,6%	5 113
Bretagne	917	3,4%	3 154	11,6%	513
Centre	5 283	13,4%	8 793	22,2%	2 761
Champagne-Ardenne	4 835	18,9%	7 050	27,5%	3 657
Franche-Comté	4 452	27,3%	7 305	44,8%	3 516
Haute-Normandie	1 745	14,1%	2 239	18,1%	1 046
Ile-de-France	1 499	12,5%	2 837	23,6%	990
Languedoc-Roussillon	1 516	5,5%	12 854	46,3%	1 154
Limousin	961	5,6%	6 002	35,3%	431
Lorraine	7 383	31,2%	8 959	37,8%	5 253
Midi-Pyrénées	3 364	7,4%	12 785	28,1%	2 063
Nord-Pas-de-Calais	1 298	10,4%	925	7,4%	496
Pays de la Loire	1 951	6,0%	2 789	8,6%	808
Picardie	2 573	13,2%	3 271	16,8%	1 299
Poitou-Charentes	1 878	7,2%	3 859	14,9%	843
Provence-Alpes-Côte d'Azur	3 832	13,3%	13 384	46,3%	3 038
Rhône-Alpes	4 335	12,5%	13 630	39,3%	2 809
Total France (partie cartographiée)	66 059	12,6%	150 745	28,6%	42 060



Figure 3. Identification des forêts de Cassini dans la matrice forestière du début du XXI^e siècle. Une comparaison entre la carte de Cassini et CORINE (2006).

COMPARAISON À L'ACTUEL



Figure 4. Identification des forêts de Cassini dans la matrice forestière du Var. Une comparaison entre la carte de Cassini et l'Inventaire Forestier National (1995).

Comparée à la situation actuelle (CORINE land cover), une exploration préliminaire des tendances quantitative, qualitative et spatiale de l'évolution des forêts est présentée pour les 21 régions administratives de la France (figure 3, tableau 1).

Une comparaison plus détaillée (figure 4) a été réalisée pour quelques régions forestières clé, choisies pour leurs histoires forestières différenciées (Var, Hautes-Alpes et Pyrénées-Orientales).

UN VASTE CHAMP DE RECHERCHES ET D'APPLICATION EST OUVERT

L'information sur les forêts de la carte de Cassini est fiable à large échelle et pour les grandes forêts anciennes. Comparée aux différentes cartes anciennes dessinant les forêts disponibles pour la France (Dupouey *et al.* 2007), la carte de Cassini présente des avantages (large échelle, date ancienne, facilité de digitalisation, bonne précision géodésique) et des désavantages (faible précision des contours et position des forêts, lacune dans les petits bois, date antérieure au minimum forestier). Des cartes plus récentes, datant du XIX^e siècle, sont actuellement en cours de digitalisation dans certaines régions de France, conduisant à une information complémentaire et plus précise.

Cette étude n'est que à son début et ouvre de nombreuses perspectives sur la cartographie de l'ancienneté des forêts en France à large échelle. Elle est riche en perspectives scientifiques (histoire, sciences naturelles) et de gestion. Parmi celles-ci :

- Recherches dans les champs multiples de l'écologie historique (étude à large échelle de l'impact de l'histoire agricole sur la répartition actuelle d'espèces indicatrices, le stock de carbone des sols, la dynamique des habitats...)
- Conservation de la nature et aménagement forestier (identification des forêts anciennes et à haute valeur pour la conservation, congruence du réseau de protection, adaptation aux changements climatiques, délimitation des réseaux d'îlots de sénescence...).

Références

Dupouey J.L., Bachacou J., Cosserrat R., Aberdam S., Vallauri D., Chappart G., Corvisier de Villelé M.A. (2007). Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France. Le Monde des Cartes, 191 : 85-98.
Pelletier M. (1990). La carte de Cassini. L'extraordinaire aventure de la carte de France. Editions Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 263 pages.

Le rapport complet

Vallauri D., Grel A., Granier E., Dupouey J.L. 2012. Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles. Rapport WWF/INRA, Marseille.

Contacts

¹ WWF France, 6 rue des Fabres, F-13001 Marseille, France, dvallauri@wwf.fr
² FRNC, 24 rue Jean-Jaurès, F-66500, Prades, France, audrey.grel@espaces-naturels.fr
³ INRA - Université de Lorraine, Unité Ecologie et écophysiologie forestière, F-54280 Champenoux, egranier@nancy.inra.fr, dupouey@nancy.inra.fr



THE FORESTS OF CASSINI

A quantitative analysis and comparison to current forests

Daniel Vallauri¹, Audrey Grel², Evelyne Granier³ et Jean-Luc Dupouey³

INTRODUCTION



Figure 1. Part of the first sheet of the map of forests in the surroundings of Paris (1749).

In 1747, King Louis the XVth missions Cassini to undertake a « General map of France ». The main aims were to finalise the measurement of the kingdom and to determine the number and position of villages, towns, rivers, and main roads. In less than 40 years, 96% of the current area of France, but also 1.8 million ha nearby its frontiers, have been mapped (for more details, see Pelletier, 1990).

Regularly used by foresters to get an idea of forest history in their region (figure 1), this map had never been globally analysed using modern GIS methods.

AIM OF THE STUDY

The current study seeks to fill this gap, especially with the aim to explore and specify the strengths and limits of this map for various possible uses, such as: identification of ancient forests, landscape dynamics studies, impact of ancientness on biodiversity, dynamics or fertility of current ecosystems...

Using the 181 sheets of the geolocalised Cassini's map (1:86400), we digitised all the forest contours, whatever their area. Beyond providing new insights into numerous methodological aspects (geometric errors of the map, quality and exhaustiveness of forest representation...) which are discussed in the full report (Vallauri *et al.* 2011), numerous polygons (closed to 50.000) give us a synthetic vision of the forests in kingdom of France during the second half of the XVIIIth century.

FRENCH FORESTS IN THE XVIIIth CENTURY



Figure 2. Map of the forests in the XVIIIth century. This GIS layer is available, at national or regional scale, free of copyright and for any use.

Out of the 54.5 million ha covered by the map, 7.1 million ha are woods, i.e. forest cover is 13%. On the current French territory covered by the map (52.6 million ha), forest cover percentage is the same, with 6.6 million ha of forests. Compared with statistics gathered during the first cadastral survey, undertaken a few decades later, these figures appear significantly lower, by more than 20%. Indeed, small woodlands were not always mapped by Cassini as we could observe by comparing Cassini's map with other, independent, contemporary maps of land use.

Forest cover was highly heterogeneous, with some regions almost deforested such as the centre of France (figure 2). Ardennes, Lorraine, Alsace, Franche-Comté, Bourgogne, but also Var for example, were the most forested regions at that time (>25%), whereas Auvergne and Limousin were heavily deforested.

Tableau 1. Area and percentage of forests on Cassini's map and today (CORINE Land cover 2006), at regional level. All percentage a calculated based on the French territory during the XVIIIth century.

	Forests on Cassini's map		Today's forests		Ancient forests nuclei
	km ²	%	km ²	%	km ²
Alsace	2.562	30.7%	3.362	40.3%	1.967
Aquitaine	3.730	8.9%	18.579	44.3%	2.453
Auvergne	2.325	8.9%	7.742	29.5%	1.224
Basse-Normandie	1.282	7.2%	1.519	8.5%	628
Bourgogne	8.340	26.3%	9.710	30.6%	5.113
Bretagne	917	3.4%	3.154	11.6%	513
Centre	5.283	13.4%	8.793	22.2%	2.761
Champagne-Ardenne	4.835	18.9%	7.050	27.5%	3.657
Franche-Comté	4.452	27.3%	7.305	44.8%	3.516
Haute-Normandie	1.745	14.1%	2.239	18.1%	1.046
Ile-de-France	1.499	12.5%	2.837	23.6%	990
Languedoc-Roussillon	1.516	5.6%	12.854	46.3%	1.154
Limousin	961	5.6%	6.002	35.3%	431
Lorraine	7.383	31.2%	8.959	37.8%	5.253
Midi-Pyrénées	3.364	7.4%	12.785	28.1%	2.063
Nord-Pas-de-Calais	1.298	10.4%	925	7.4%	496
Pays de la Loire	1.951	6.0%	2.789	8.6%	808
Picardie	2.573	13.2%	3.271	16.8%	1.299
Poitou-Charentes	1.878	7.2%	3.859	14.9%	843
Provence-Alpes-Côte d'Azur	3.832	13.3%	13.384	46.3%	3.038
Rhône-Alpes	4.335	12.5%	13.630	39.3%	2.809
Total France (only mapped parts)	66.059	12.6%	150.745	28.6%	42.060



Figure 3. Revealing Cassini's forests within the French forest matrix of the beginning of the XXIst century. A comparison between Cassini's map and CORINE 2006 land cover map.

COMPARISON TO CURRENT SITUATION



Figure 4. Revealing Cassini's forests within the current forest matrix of Var. A comparison between Cassini's map and national forest inventory (1995).

Compared to the current situation (CORINE land cover), a preliminary exploration of the quantitative, qualitative and spatial trends in forest cover is presented for 21 administrative regions of France (figure 3, table 1).

A more detailed comparison (figure 4) has been made for some key large forest regions chosen to be representative of different forest histories (Var, Hautes-Alpes and Pyrénées-Orientales).

A LARGE FIELD OF RESEARCH AND APPLICATIONS IS OPENED

The information on forests from the Cassini's map is reliable at large scale and for large ancient woodlands. Compared to the different old maps of forest available for France (Dupouey *et al.* 2007), Cassini's map presents some advantages (large scale, old survey, easy to digitalise, good overall geodesic accuracy) and disadvantages (poor accuracy of forest contours and position, lack of small woodlands, survey made before the French forest area minimum). More recent maps, from the beginning of the XIXth century, are currently being digitalised in some regions of France, leading to complementary and more accurate information.

This study is only at its beginning and opens many new perspectives on large scale mapping of forest ancientness in France, and is rich of scientific (history, natural sciences) and management perspectives. Among these are:

- Researches in various fields of ecological history (studying large scale impacts of agricultural history on today's repartition of indicator species, soil carbon stocks, habitat dynamics...).
- Nature conservation and forest planning (identification of ancient and high conservation value forests, congruence of the reserve network, mitigation of climate change, delineation of networks of leave islands...).

References

Dupouey J.L., Bachacou J., Cosserrat R., Aberdam S., Vallauri D., Chappart G., Corvisier de Villele M.A. (2007). Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France. Le Monde des Cartes, 191 : 85-98.
Pelletier M. (1990). La carte de Cassini. L'extraordinaire aventure de la carte de France. Editions Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 263 pages.

The full report

Vallauri D., Grel A., Granier E., Dupouey J.L. 2012. Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles. Rapport WWF/INRA, Marseille.

Contacts

¹ WWF France, 6 rue des Fabres, F-13001 Marseille, France, dvallauri@wwf.fr
² FRNC, 24 rue Jean-Jaurès, F-66500, Prades, France, audrey.grel@espaces-naturels.fr
³ INRA-Lorraine University, Forest Ecology and Ecophysiology Unit, F-54280 Champenoux, egranier@nancy.inra.fr, dupouey@nancy.inra.fr

SOMMAIRE

INTRODUCTION	06
Une question de temps	06
Connaître l'histoire des forêts, une obligation pour l'écologue	06
La carte de Cassini, premier outil cartographique national	06
Objectif de l'étude	07

A PROPOS DE LA CARTE DE CASSINI	08
La première carte à grande échelle du territoire français	08
Echelle de la carte, taille des feuilles	08
Territoire couvert par la carte	09
Date de levé des cartes	11
Vérification des cartes	13
Les différentes éditions de la carte de Cassini	16

MÉTHODE DE DIGITALISATION DES FORÊTS	20
La carte de Cassini numérisée	20
La digitalisation des bois et forêts	20

ANALYSE CRITIQUE DES INFORMATIONS FORESTIÈRES DE LA CARTE DE CASSINI	26
Des critiques anciennes	26
Erreur de positionnement dans la carte de Cassini	27
Exhaustivité de la représentation des bois	29
Comparaison avec le cadastre d'Alsace	29
Comparaison avec le cadastre de la Généralité de Paris	30
Comparaison avec la carte de Guyenne	32
Comparaison avec l'Atlas des routes de Trudaine	33

MÉTHODE DE COMPARAISON AVEC LES FORÊTS ACTUELLES	34
Source de l'information forestière actuelle utilisée	34
L'objet « forêts » dans les cartes actuelles	34
Typologie de la matrice de transition	35
Redressement spécifique à l'échelle du département	36

LES FORÊTS DE CASSINI : PREMIÈRE APPROCHE	38
En un coup d'œil	38
Comparaison avec les statistiques forestières nationales du début du XIX ^e siècle	38
<hr/>	
QUE SONT DEVENUES LES FORÊTS DE CASSINI ?	44
En un coup d'œil	44
Les noyaux forestiers anciens aujourd'hui	44
Les terrains déboisés depuis Cassini	45
La progression des forêts par rapport à Cassini	46
Tour d'horizon par région	46
<hr/>	
RELATION ENTRE PRÉSENCE DE NOYAUX FORESTIERS ANCIENS ET CARACTÉRISTIQUES DES PEUPEMENTS FORESTIERS	54
Lien entre présence de noyaux forestiers anciens et zones d'intérêt écologique et faunistique	54
Lien entre présence de noyaux forestiers anciens et statut de protection	55
Croisement de la carte des noyaux forestiers anciens avec les cartes de l'IFN, le type d'usage CLC et le modèle numérique de terrain	56
<hr/>	
PERSPECTIVES	58
Un outil utile à la disposition de tous	58
Perspectives scientifiques	58
Perspectives pour le gestionnaire	59
En guise de conclusion	60
<hr/>	
RÉFÉRENCES	62

INTRODUCTION

Une question de temps

Les écosystèmes forestiers s'inscrivent dans des processus dynamiques dont la durée dépasse le siècle. Un chêne peut vivre plus de 500 ans, un mélèze près de 1000 ans. La maturité des peuplements est ainsi reconnue comme un facteur majeur de la naturalité des écosystèmes forestiers. Mais d'autres processus jouent à des échelles de temps plus longues encore, et en partie indépendamment de l'âge des arbres. La genèse d'un sol forestier requiert des siècles voire des millénaires ; le front de colonisation d'une forêt par certaines espèces de plantes avance à moins de 100 m par siècle (Hermy *et al.*, 1999 ; Dupouey *et al.*, 2002b). L'ancienneté de l'état boisé est donc aussi considérée en écologie comme l'une des composantes importantes de la naturalité (Dupouey & Dambrine, 2010 ; Vallauri, 2007).

Ces temps écologiques dépassent les temps des sociétés, à tel point que ces dernières en oublient parfois l'existence ou l'importance.

L'histoire, l'archéologie, l'écologie historique et la paléoécologie peuvent, en s'alliant, en retracer les legs. Les impacts de mises en valeur agricoles très anciennes peuvent être détectés par le chercheur attentif dans les forêts actuelles des centaines d'années après l'abandon de ces terroirs (Dupouey *et al.*, 2002a, Dambrine *et al.* 2007), même si ces traces discrètes sont masquées au plus grand nombre. Les sols, les plantes, la fertilité des stations notamment, conservent la mémoire de ces défrichements, en dépit du fait que l'écosystème forestier est fondamentalement dynamique et, d'un point de vue physiologique au moins, résilient.

Connaître l'histoire des forêts, une obligation pour l'écologue

Pour comprendre et analyser une forêt actuelle, que l'on s'intéresse à sa biodiversité, à son patrimoine culturel, à sa productivité ou au stockage

du carbone dans les sols, entre autres exemples, il est indispensable de connaître son histoire. Une partie des faits et réalités que nous décrivons sur le terrain en ce début de XXI^e siècle est le résultat, parfois masqué, de cette histoire. Mieux distinguer cette influence de l'histoire sur les processus écologiques permettra de prédire les évolutions des paysages à moyen terme de façon plus fiable ; par exemple celles, drastiques, induites par les changements globaux.

Or, la France et l'Europe de l'Ouest ont vécu depuis le XIX^e siècle une inversion de la tendance millénaire à la diminution de la surface forestière. C'est une révolution forestière et écologique majeure, appelée « transition forestière » (Mather, 1992). Elle est liée à des changements sociétaux profonds : passage d'une société rurale à une société industrielle puis tertiaire accompagnée d'une urbanisation rapide, transition énergétique du bois énergie vers des énergies non renouvelables, intensification de l'agriculture... En France, le taux de boisement a presque doublé depuis le minimum forestier de la première moitié du XIX^e siècle. De nombreux territoires actuellement forestiers étaient déboisés il y a moins de deux siècles. A l'inverse, certains massifs forestiers ont traversé l'histoire en demeurant boisés. Comment identifier les uns et les autres ?

La carte de Cassini, premier outil cartographique national

Les moyens d'investigation à disposition de l'historien des forêts, de l'écologue ou du forestier pour reconstruire l'extension et la qualité des boisements anciens sont nombreux (archives : GHFF, 1982, Corvol, 1987 ; paléoécologie : Carcaillet & Talon, 2003 ; écologie historique et cartes : Dupouey *et al.*, 2007b). L'analyse informatique des multiples cartes disponibles (pour une revue critique des fonds disponibles à l'échelle nationale, voir Dupouey

et al., 2007a) permet une approche à la fois quantitative, spatiale et temporelle de l'état boisé, ce qui est particulièrement pertinent en écologie.

En 1747, Louis XV confie à Cassini de Thury (dit aussi « Cassini III »), scientifique téméraire et opiniâtre, la réalisation de la première « Carte générale et particulière de la France ». En 42 ans, la majorité de la France actuelle mais aussi 1,8 millions d'hectares en position frontalière ont ainsi été cartographiés. Les forêts y sont représentées. C'est la première carte d'ampleur nationale, de bonne précision géométrique et à grande échelle des forêts françaises.

Elle a été utilisée systématiquement par les géographes, les forestiers et les écologues pour des études régionales (voir par exemple Carles, 1943, Henry, 1943, Clout, 1973, Douguedroit, 1976, Dubois, 1989, Vallauri, 1997, Lemaitre & Lemaitre, 2006, Andrieu *et al.*, 2011). Une mention particulière doit être faite des travaux d'Hippolyte de La Hamelinaye, premier forestier à avoir mis en œuvre, au début du XX^e siècle, les cartes de Cassini dans ses aménagements (Bartoli, à paraître). La répétition de ces études aurait justifié à elle seule la digitalisation des forêts de la carte de Cassini dans son ensemble. Mais surtout, un tel travail global d'informatisation ouvre la voie à de nouvelles recherches, à l'échelle nationale, sur l'évolution des forêts françaises.

Objectif de l'étude

La présente étude vise à combler cette lacune d'analyse géomatique des forêts de la carte de Cassini.

Elle se fixe notamment pour buts :

- de numériser (vectoriser et géoréférencer) les contours des massifs forestiers représentés sur la carte de Cassini ;
- de préciser et discuter l'intérêt et les limites des informations que cette carte apporte, dans le cadre d'une interprétation écologique et historique de l'évolution des surfaces forestières ;
- de présenter les grands traits, cartographiques et statistiques, de l'image des forêts que nous donne la carte et de les comparer à la réalité d'aujourd'hui ;

- de mettre à disposition de tous ces données, libres de droits, notamment pour d'éventuels travaux ultérieurs ;
- d'explorer les applications qui peuvent en être faites (identification des noyaux forestiers anciens, étude de l'évolution des paysages, analyse des conséquences de l'ancienneté sur la biodiversité ou la fertilité...).

Nous présentons successivement dans ce rapport :

- la carte de Cassini, son contexte historique et quelques-unes de ses particularités. Nous avons voulu, dans cette première partie, présenter les caractéristiques de la carte qu'il est important de connaître quand on s'intéresse à la forêt. Certains aspects de cette partie sont inédits, comme l'analyse des dates de levés de la carte ;
- les méthodes utilisées pour vectoriser et géoréférencer le contour des forêts de Cassini, puis celles mises en œuvre pour comparer cette couche historique à la carte actuelle des forêts ;
- une analyse critique des informations forestières relevées par Cassini ;
- ensuite, les cartes obtenues sont commentées, tout d'abord pour les forêts de Cassini seules, puis pour leur comparaison à l'actuel. Ces commentaires sur la répartition spatiale, la surface et l'évolution des masses forestières concernent trois échelles, nationale, régionale et départementale ;
- enfin, sont ébauchées les nombreuses perspectives ouvertes tant pour les recherches en écologie historique que pour l'application à la gestion des forêts.

A PROPOS DE LA CARTE DE CASSINI

La première carte à grande échelle du territoire français

La carte de France de Cassini est « la première entreprise cartographique d'envergure réalisée sur l'ensemble du territoire français à partir de levés originaux » (Pelletier, 1990). Les objectifs immédiats sont d'achever la mesure du Royaume et de « déterminer la position du nombre presque innombrable de bourgs, villes et de villages... et de tracer les lignes principales, constituées par les rivières et par les grands chemins » (Pelletier, 1990). L'intérêt d'un tel outil pour favoriser le développement économique du pays est déjà bien perçu.

Cassini de Thury commence par l'Ile-de-France (figure 1). Il organise des équipes de deux ingénieurs géographes qu'il envoie, pour des missions de plusieurs mois, lever la carte avec un



Figure 1. Extrait de la première feuille de la carte de Cassini, celle de Paris (publiée en 1756). Source : exemplaire couleur de la collection Hauslab-Liechtenstein, Library of Congress.

minimum d'instruments : un demi-cercle à lunette, une règle de cuivre, un compas de six pouces, une lunette de deux pieds, une loupe et un rapporteur de corne en tout et pour tout. Cassini lui-même décrit leur travail : « Placés dans la partie la plus élevée des clochers, & accompagnés soit du Curé, soit du syndic, (...) ils devoient passer une partie de la journée à prendre une connoissance du pays suffisante pour le représenter sur la carte, à vérifier l'état de leurs instruments, (...) à prendre & reprendre plusieurs fois les angles entre les points principaux (...). Au travail de la journée devoit succéder celui du cabinet : il falloit, sur l'idée qu'ils avoient prise de la situation du pays dessiner à peu près les hauteurs, les vallons, le contour des bois, la direction des chemins, le cours des rivières, la nature du terrain ; enfin faire la Carte du pays tandis qu'ils étoient sur les lieux à portée de reconnoître si elle étoit exacte, & de la corriger si elle étoit défectueuse » (Cassini de Thury, 1754). De retour à Paris, à partir des registres de calculs et de description, une seconde minute est réalisée indépendamment. Elle sera vérifiée et corrigée sur le terrain par des ingénieurs spécialisés avant gravure sur cuivre de la feuille à publier.

Echelle de la carte, taille des feuilles

L'échelle choisie est d'une ligne pour cent toises, soit 1:86 400¹. La carte est composée de 181 feuilles (figure 2, annexe 2). Une feuille complète couvre 40 000 toises d'est en ouest et 25 000 toises du nord au sud, soit 78,0 x 48,7 km. A l'échelle du 1:86 400, ces feuilles doivent donc avoir une taille de 90,2 x 56,4 cm (400 x 250 lignes). Elles couvrent théoriquement une surface terrain de 3 799 km² (109 toises car-

¹ 1 ligne = 1000 / 443,296 mm ≈ 2,256 mm ;
1 toise = 864 lignes ≈ 1,949 m.

rées) et une surface papier de 0,509 m² (10⁵ lignes carrées).

Sur les 181 feuilles de la carte, 105 sont complètes. Nous avons mesuré leur surface. La valeur moyenne de la surface du territoire représenté est de 3 793 km², très proche de la valeur théorique prévue. Les 76 autres feuilles, toutes situées en bordure du territoire cartographié, couvrent des surfaces plus petites et variables.

Territoire couvert par la carte

À l'époque de Cassini, les limites de la France n'ont pas encore le caractère précis et immuable qu'elles semblent avoir aujourd'hui. De nombreux territoires limitrophes ont un statut mal déterminé par rapport à l'entité France. Il n'est donc pas étonnant que la carte, particulièrement dans sa partie nord où la situation territoriale est alors la plus complexe, déborde largement de ce que nous

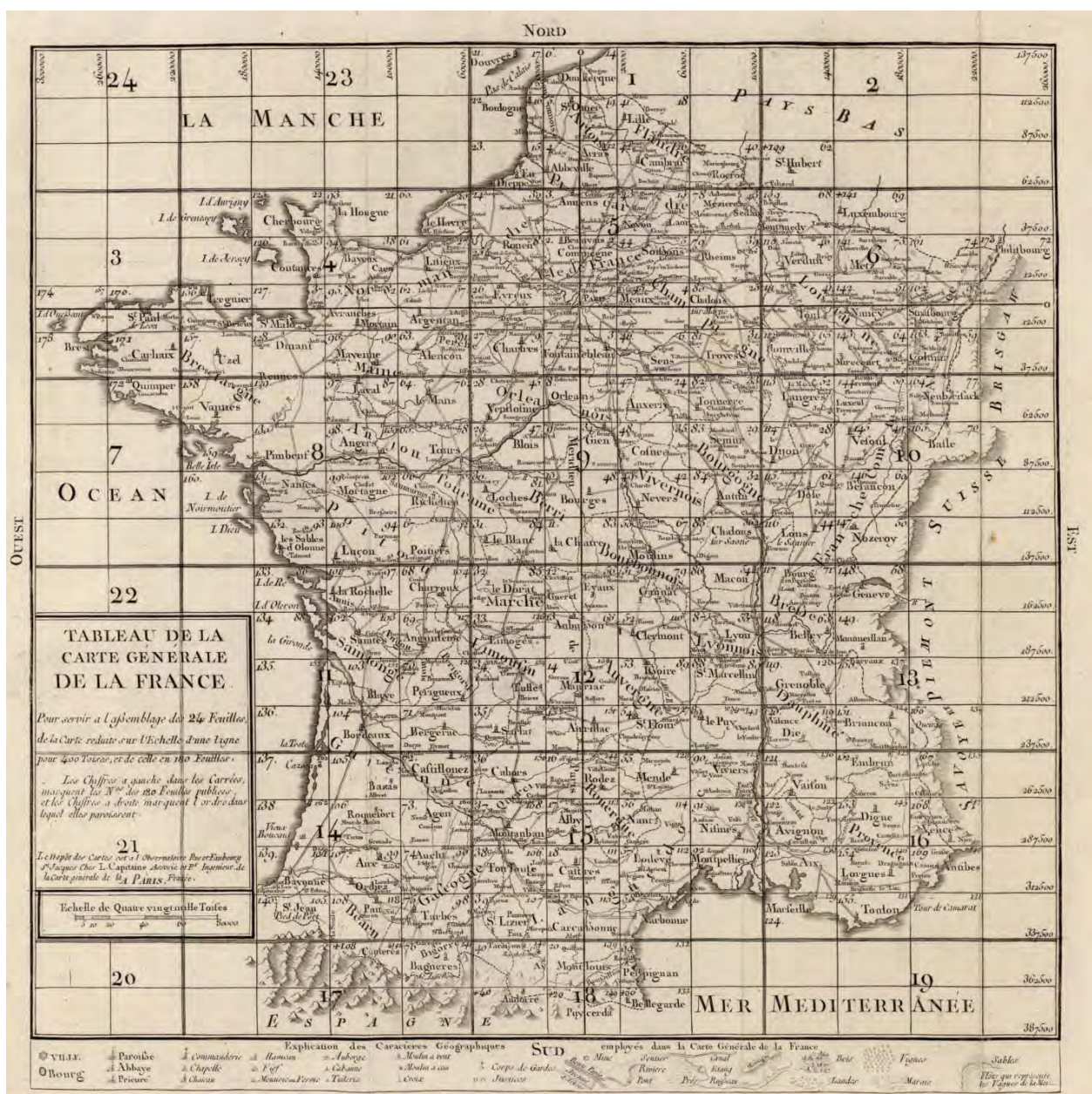


Figure 2. Tableau d'assemblage des feuilles de la carte de Cassini, par L. Capitaine, vers 1790. Le numéro d'ordre de parution est indiqué jusqu'à la 162^e feuille, publiée peu de temps avant le mois d'août 1790 (voir également l'annexe 2 et la couche SIG en annexe 8).

considérons aujourd'hui le territoire français. Cassini a pris le parti d'inclure dans sa carte toutes ces zones au rattachement mal défini. Comme de nombreux territoires formaient des enclaves plus ou moins éloignées de la frontière continue de la France, il a aussi cartographié toutes les surfaces entre la frontière et ces enclaves. On trouve par exemple, au nord de l'Alsace, une vaste zone cartographiée, jusqu'à plus de 20 km au nord de la frontière. Celle-ci inclut la ville de Landau, qui était alors « Terre de France », comme indiqué sur la carte.

Brette (1907) a étudié les limites territoriales de la France à la veille de la Révolution française, et a analysé leur représentation sur la carte de Cassini. Il note que « ... le résultat donne précisément le tableau de l'incohérence et du désordre [qui régnaient alors sur les divisions et limites du territoire français] » (p. 78-81).

La carte de Cassini dépasse largement les frontières françaises de l'époque (figure 3). Les îles anglo-normandes sont représentées, ainsi que des parties limitrophes de la Belgique, du Luxembourg, de l'Allemagne, de la Suisse et de la Catalogne. La principauté d'Andorre est entièrement cartographiée.

La Lorraine, rattachée à la France en 1766, est levée dès les années 1750. Toutes les enclaves

étrangères dans le royaume de France qui seront rattachées après la Révolution sont aussi représentées (République de Mulhouse, Comté de Montbéliard, République de Genève, Comtat Venaissin...).

A l'inverse, la Corse, pourtant acquise en 1768, n'est pas cartographiée par Cassini. La raison principale est qu'elle n'est encore couverte par aucune triangulation². Par rapport au territoire actuel, il manque aussi dans la carte de Cassini le duché de Savoie (actuels départements de la Savoie et de la Haute-Savoie) et le Comté de Nice, annexés à la France en 1860, et quelques zones attenantes rattachées en 1947. La carte n'empiète que peu sur ces territoires, en particulier dans la partie sud de cette frontière, cartographiée par Cassini tardivement, de 1776 à 1780. A l'époque, la frontière avec le royaume de Piémont-Sardaigne, auquel appartiennent la Savoie et le Comté de Nice, était beaucoup mieux définie que celle du nord de la France. Le traité de Turin, ou traité des limites, avait été signé en 1760 avec le royaume de France, la frontière bornée et une carte très précise de cette frontière dressée dans la foulée par l'ingénieur militaire Bourcet. Une situation malheureuse pour nous, puisqu'on ne dispose finalement pas de carte des forêts facile d'accès pour la Savoie de cette époque. Mais plusieurs autres sources cartographiques existent pour des dates proches, et de meilleure qualité.

L'île de Noirmoutier n'est qu'en partie représentée et l'île d'Yeu, qui n'est rattachée à la Couronne qu'en 1785, est absente de la carte.

En résumé, la carte de Cassini couvre un territoire total d'une surface de 54,5³ millions d'ha : - 52,6 millions d'ha font partie de la France actuelle, qui est donc cartographiée à 96% ;

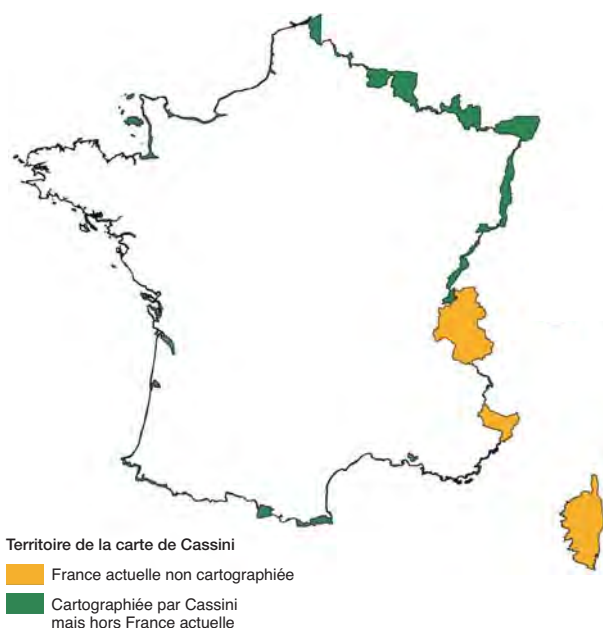


Figure 3. Comparaison entre le territoire de la carte de Cassini et la France actuelle.

² Ce n'est qu'en 1827 que les premières tentatives de lien entre la Corse et le continent seront faites par les ingénieurs de la carte d'Etat-Major. Elles n'aboutiront vraiment qu'un siècle plus tard, en 1925. Mais, sans attendre ce rattachement géodésique au continent, les ingénieurs géographes de l'armée établissent la première triangulation et carte de l'île, de 1770 à 1791. C'est un des premiers signes forts de la reprise en main de l'entreprise de cartographie de la France par l'Etat, qui verra son aboutissement au cours du XIX^e siècle, lors de la réalisation de la carte d'Etat-Major.

³ Tous les calculs de surface ont été effectués après projection des cartes dans le système WGS84 (projection cylindrique UTM). Cette projection conforme implique des biais importants sur les valeurs absolues des surfaces calculées.

- les territoires manquants représentent une surface de 2,3 millions d'ha ;
- en revanche sur la carte de Cassini figurent 1,8 millions d'ha hors de la France actuelle, et 2 millions d'ha hors de la France de l'époque.

Date de levé des cartes

Les dates de parution des feuilles de la carte de Cassini sont connues avec une certaine précision depuis les travaux de Berthaut (1898, 1902) et, surtout, Duranthon à l'IGN (non publiés). Mais ce qui intéresse l'écologue, ce sont les dates des levés. Or, le délai entre levés et publication a fortement varié selon les cartes. En moyenne de 5 ans pour les feuilles parues avant la Révolution, il atteint plus de 20 ans pour la carte de Bergerac (n°71). Levée en 1762 et 1766, elle n'est publiée qu'au début de la Révolution. Les 16 feuilles qui n'étaient pas publiées en 1790 attendront 1815 pour être rendues publiques, lorsque le secret imposé par les chefs militaires, révolutionnaires d'abord puis napoléoniens ensuite, sur l'ensemble de la carte aura été levé. La feuille de Bazas, dans ce dernier cas, avait été levée entre 1763 et 1767. Il s'est écoulé 50 ans entre son levé et sa parution publique.

Nous avons mesuré la surface du territoire cartographié sur chaque feuille de la carte de Cassini, et compté pour chaque année le nombre d'ingénieurs qui y ont travaillé, ce qui permet d'apporter quelques informations plus précises sur le rythme de réalisation de la carte. Nous ne connaissons les dates des levés avec précision que pour 170 des 181 feuilles, soit 95% de la surface totale cartographiée. Sur les 11 feuilles pour lesquelles aucune information n'est disponible, la date des levés peut être déduite des feuilles adjacentes avec une assez bonne fiabilité.

Les levés se sont étalés sur 42 ans, de 1749 (feuille de Paris, n°1) à 1790 (feuille de Tréguier, n°156). Mais 83% de la surface totale a été levée en 25 ans, entre 1754 et 1778. La date moyenne de réalisation des cartes (pondérée par leur surface) est 1765. Courant 1763, la moitié de la surface totale est cartographiée. Sur les 180 feuilles qu'il prévoyait au total, Cassini de Thury envisageait, en rythme de croi-

sière, de lever dix à douze feuilles par an et d'achever son œuvre en 18 ans ou moins. Au premier semestre 1756, soit après un peu plus de six ans de levés, il estime « qu'il y a un tiers de l'ouvrage entièrement fait » (Cassini de Thury, 1783, p. 194). Cette estimation semble indiquer qu'on est parfaitement dans les temps, avec un tiers du travail achevé en un tiers du temps initialement prévu. Plus encore, Cassini de Thury fait preuve d'optimisme pour la suite, puisqu'il prévoit de publier douze cartes par an jusqu'à la fin du projet, qu'il fixe à 1766 : « nous annonçons au public avec une grande satisfaction qu'il va jouir des fruits de notre travail, & que dans l'espace de dix années, toutes les cartes de la France seront levées & gravées » (1756, in Cassini de Thury, 1783, p. 194). Mais la réalité est, déjà à cette date, différente et l'écart entre la planification du travail et sa réalisation effective ne cessera de se creuser. Les levés n'atteindront le rythme de 10 feuilles par an que lors des deux années suivantes (1757 et 1758), pour s'établir ensuite à un rythme de croisière de 2 à 4 feuilles par an. Ils ne seront terminés qu'en 1790, soit avec 24 ans de retard sur le plan établi en 1756. Les dernières gravures ne seront réalisées qu'en 1793 et les dernières parutions attendront 1815 (Berthaut, 1898, p. 54). Plus gênant, nos calculs indiquent qu'en 1756, moins de 20% du territoire avaient été levés ! Cassini de Thury ne pouvait l'ignorer (cf. aussi Jean-Dominique Cassini, 1810, p. 107, note 1). En « bon » commercial, il vendait un peu plus que ce qu'il avait réellement fait. Il faut dire que, cette année-là, Cassini de Thury « privatise » son entreprise, que Louis XV ne peut plus financer, en raison en particulier de la guerre de Sept Ans qui vient de démarrer. La perspective d'une fin rapide de l'entreprise est plus à même d'attirer les souscripteurs privés.

On peut distinguer 3 phases dans l'avancement du travail (figure 4) :

- une première phase d'augmentation rapide de l'investissement dans les levés, jusqu'aux années 1757-1759, années dont la productivité ne sera plus égalée par la suite. Pendant ces trois années, le nombre d'ingénieurs employés aux levés est à son maximum ;
- une seconde phase de « croisière », la plus longue, de 1760 à 1778, où se maintient un



Figure 4. Surface annuelle levée, en pourcentage de la surface totale de la carte.

rythme équivalent à celui des années précédant 1757. La surface cartographiée par an et par ingénieur semble diminuer pendant cette période, puisque le nombre d'ingénieurs employés continue à être élevé, alors que la surface cartographiée annuellement a diminué. Est-on devenu moins efficace ou plus soigneux ? Jean-Dominique Cassini estime qu'« un ingénieur ne pouvait guère faire par an plus d'une demi-planche » (1810, p. 103, voir aussi Cassini de Thury, 1783, p. 12). En fait, nos calculs montrent que les ingénieurs, en moyenne, ont levé entre un quart et un tiers de feuille par an sur toute la durée de l'entreprise. La feuille de Clermont-Ferrand (n°52) est caractéristique de cette période. Elle a nécessité d'y revenir dix années différentes, entre 1759 et 1775, et six ingénieurs différents y ont participé. On est loin du planning initial d'une année de levé par feuille pour deux ingénieurs, qui n'a été atteint que pour quelques rares années. Cette apparente baisse de rendement est peut-être due à la condition financière des ingénieurs : « (...) dans les premiers temps (...) les ingénieurs avaient un traitement annuel ; mais dans la suite où l'expérience fit connaître ce qu'un travailleur intelligent pouvait lever de pays dans une campagne et ce qu'il devait gagner, chaque ingénieur ne fut plus payé qu'à la tâche, et s'il s'occupait d'autre chose, ce n'était plus aux dépens de l'ouvrage qui n'en était qu'un peu retardé » (Jean-Dominique

Cassini, 1810, p.106). Si ce choix, fait dès 1756, a probablement permis d'améliorer la rentabilité financière de l'entreprise, il ne semble pas avoir joué dans le sens d'une augmentation de la rapidité des levés, au contraire. Sans doute existait-il effectivement des travaux mieux payés pour ces ingénieurs. Et ce fait n'a dû que s'amplifier au cours du temps, en raison des difficultés financières croissantes de l'entreprise. De fait, l'analyse de la liste des ingénieurs ayant participé chaque année aux levés montre que la majorité des 88 ingénieurs ou familles d'ingénieurs impliqués n'ont participé aux levés que pour une courte période, ou ont collaboré de façon épisodique à la carte. Rares sont ceux qui s'y consacrent à plein temps. Ces changements fréquents sont bien sûr un obstacle à la qualité de l'ouvrage. Cela a aussi très probablement des conséquences sur l'homogénéité des relevés et donc des feuilles finales (Delsalle, 1998). Seuls trois ingénieurs ont couvert chacun plus de 5% de la surface totale : Langelay, les frères Michel et Luc. La présence assez constante de Langelay dans la région méditerranéenne assure probablement à celle-ci une certaine homogénéité dans la représentation du terrain.

- après 1778, une dernière phase voit la fin de l'entreprise, lente et difficile.

La répartition spatiale des dates de levés (figure 5) montre une progression très structurée du travail. Les priorités vont bien sûr à Paris et sa Généralité, levés sur financement de l'Etat, puis aux frontières septentrionales, qu'elles soient maritimes de Cherbourg à Dunkerque ou terrestres de Dunkerque à Metz, car elles constituent la préoccupation principale des stratèges militaires. Les Etats de Bourgogne, de Bresse et d'Artois qui avaient passé des contrats avec Cassini avant la privatisation sont rapidement levés, ainsi que la Lorraine. La partie nord de la France, hors Bretagne, se termine en 1767 avec les derniers levés de Strasbourg. Ce sera ensuite la partie sud de la France, parcourue globalement d'ouest en est. Les derniers levés auront lieu en Bretagne, de 1780 à 1790. Les levés dans le Sud-Ouest s'étaient anormalement, de 1761 à 1786 (Dainville, 1957, p. 18), car dans cette région, l'entreprise est dirigée par la Province de Guyenne, cause de nombreux retards.

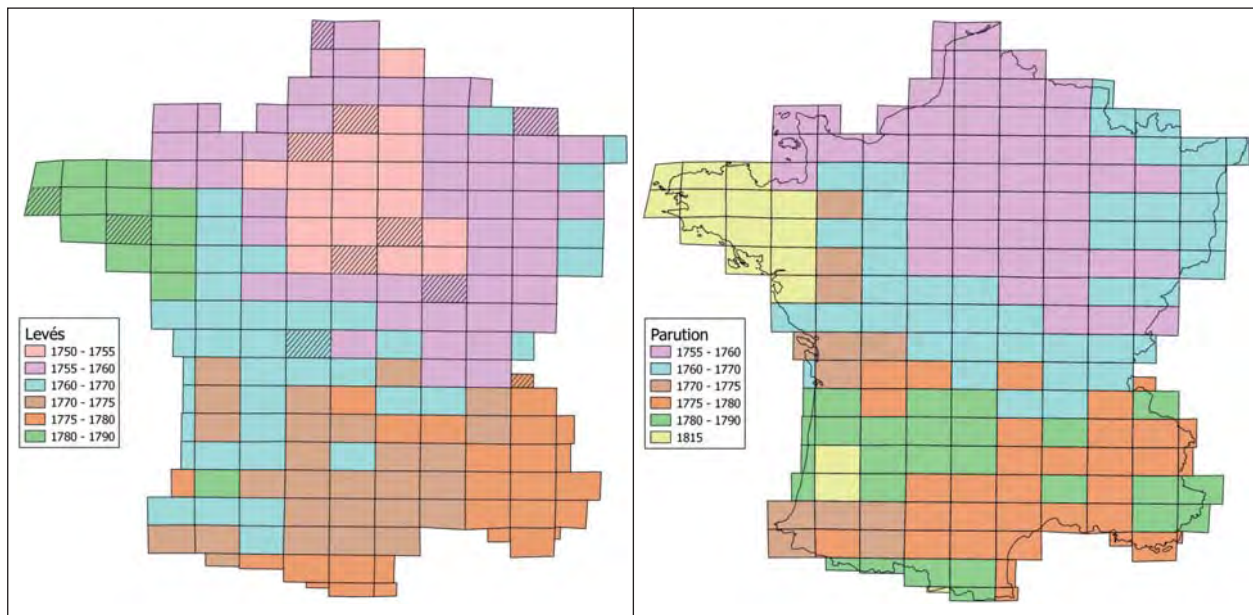


Figure 5. Date de levé (à gauche) et de publication (à droite) des feuilles de la carte de Cassini. Les dates de levé des feuilles hachurées ne sont pas connues avec exactitude et ont été estimées à partir d'informations diverses.

Une grande œuvre parfois périlleuse

Le travail sur le terrain n'était pas sans risques. « (...) en 1742, on termina la description (...). Ce ne fut pas sans peine ni sans obstacles, une première grêle qui étoit tombée le jour qu'un signal fut placé, détermina les paysans allarmés d'un signe extraordinaire, à l'abattre ; une seconde grêle qui survint le jour qu'il fut rétabli redoubla leurs allarmes ; ils s'attrouperent pour chercher les Ingénieurs, qui furent obligés de fuir, pour éviter le danger dont ils étoient menacés, d'ailleurs le pays étoit ingrat à l'exception de quelques objets situés sur la rivière *Dindre*, on ne trouvoit que des forêts, des étangs, des bruyeres. Il restoit un grand vide depuis Poitiers jusqu'au blanc qu'on auroit pu remplir au moyen des signaux, des feux ; mais le bruit de la grêle, qui s'étoit répandu dans les environs, ne permettoit plus d'employer ces moyens, & il a fallu avoir recours à d'autres moins exacts. » (Cassini de Thury, 1783, p. 83-84). Cassini recommande ainsi à ses ingénieurs « d'éviter de faire usage des signaux que les paysans regardent comme des signes effrayans, qu'ils cherchent par conséquent à détruire » (1783, p. 83).

Vérification des cartes

Chaque feuille est levée sous la forme de minutes, puis vérifiée avant d'être gravée. La vérification est faite entre l'année même des levés et jusqu'à 6 ans après (en valeur médiane un an et demi plus tard).

Que faisaient les vérificateurs ? Jean-Dominique Cassini (1810) indique : « Les erreurs dans les opérations géométriques se reconnaissent facilement ; elles se vérifiaient par elles-mêmes et au moyen des côtés des grands triangles sur lesquels elles s'appuyaient : mais il n'en étoit pas ainsi des oublis et des fausses configurations dans les détails topographiques ; cet objet exigeait un renvoi de vérificateurs qui fut suivi plus d'une fois d'une levée toute nouvelle. Ces inconvénients eurent particulièrement lieu dans les commencements de l'ouvrage, lorsque les ingénieurs n'avaient point encore acquis une expérience suffisante » (Cassini, 1810, p. 102). « La carte terminée, des vérificateurs, outre la confrontation faite par eux-mêmes avec les lieux, devaient la présenter aux seigneurs pour recevoir leur approbation ou leurs observations et y avoir égard » (Cassini, 1810, p. 105). « (...) les ingénieurs leur présentent les cartes [aux seigneurs et curés], ils profitent de leurs indications, ils travaillent

sous leurs ordres, ils exécutent en leur présence la correction de la carte (...) » (Cassini de Thury, 1757). L'avis des vérificateurs devait en théorie moduler le salaire des ingénieurs : « ceux dont les ouvrages seront approuvés par les Seigneurs & et Curés à l'inspection de la Carte, recevront la gratification la plus considérable ; ainsi ils seront jugés par leurs propre travail, & sur le rapport du vérificateur qui aura présenté sa Carte au Seigneur & Curé ». Qui vérifiait le travail des vérificateurs ? : « Nous espérons que Messieurs les Seigneurs & Curés, qui s'intéresseront au bien de l'ouvrage, voudront bien nous avertir si les Ingénieurs chargés de la vérification ont négligé de se transporter chez eux » (1756, *In* Cassini de Thury, 1783, p. 196). 88 ingénieurs ou familles d'ingénieurs ont participé aux levés, mais 26 seulement aux vérifi-

cations. La plupart de ces vérificateurs (22 sur les 26) ont effectué ou effectueront aussi des levés à un moment ou un autre. Le nombre d'années d'ingénieur comptabilisées en vérification représente 22% du nombre total d'années d'ingénieur comptabilisées au total (levé et vérification) pour les 122 feuilles où nous avons pu trouver des informations sur ces deux types d'activités.

L'examen des minutes montre que les propositions de modifications faites dans les minutes dites « vérifiées » portent avant tout sur la toponymie et secondairement sur certains tracés : routes, rivières, forêts. Mais ces propositions de modifications ne sont pas toujours prises en compte dans la carte finale (voir trois exemples, figures 6, 7 et 8). Finalement, les modifications de contours forestiers entre le



Figure 6. Comparaison des levés d'origine (1775, en haut à gauche), de la carte finale (1778 ou 1779, en bas à gauche) et des cartes vérifiées (à droite, en haut, non datée, et en bas, 1776) dans le quart SO de la feuille d'Avignon (n°122). Au sud du village de Menerbes, un bois qui apparaît sur les cartes vérifiées, et qui n'avait pas été noté sur les levés d'origine, n'est pas gravé sur la carte finale. Les modifications de toponymes proposées sont par contre bien prises en compte dans la carte finale : Gergouin devient Gergouwein.



Figure 7. Sud de la feuille de Perpignan (n°59). Les bois occupent une surface plus grande dans la vérification (au milieu, 1779) que dans les levés initiaux (en haut, 1777) : il y a plus de bois, et chaque bois est représenté par une plus grande tache. Pourtant, la carte finale (en bas) reprend le dessin des levés initiaux, et non celui de la vérification.



Figure 8. Comparaison des levés d'origine (1775, en haut à gauche), de la carte finale (en bas à gauche) et des cartes vérifiées (à droite, en haut, non datée, et en bas, 1776) dans le quart SO de la feuille d'Avignon (n°122). Les boisements alluviaux de la Durance ont été ajoutés par le vérificateur et se retrouvent bien sur la carte finale. Mais, le bois situé sous le toponyme « le Cheval blanc », pourtant présent sur les levés d'origine et les vérifications, disparaît sur la carte finale.

levé initial et la carte finale semblent rares et le plus souvent très mineures. Pour les 8 feuilles que nous avons étudiées plus particulièrement, nous n'avons détecté que très peu de changements entre les levés et la gravure finale concernant l'emplacement des forêts. Il pourrait être intéressant de confirmer cette observation par l'examen d'un plus grand nombre de minutes.

Les différentes éditions de la carte de Cassini

Il existe plusieurs éditions de la carte de Cassini :
 - imprimée en noir et blanc, elle pouvait, sur demande, être aquarellée. La façon d'enluminer la carte varie beaucoup selon les versions. Cette mise en couleur a souvent pris un tour décoratif, qui nuit à la qualité de la carte. La représentation des forêts en est nettement affectée comme le montre la figure 9.

- chaque feuille pouvait être vendue entière ou découpée en 21 petits rectangles collés sur toile de jute afin d'être pliée et transportée ;
- des corrections ont été apportées au contenu de la carte, au fur et à mesure des impressions. Ces corrections n'ont pas, semble-t-il, concerné les forêts, mais principalement les routes (Pelletier, 1990, p. 147).



Figure 9. Environ de Cauterets (feuille n°108+). Première édition. En haut, exemplaire noir et blanc (collection David Rumsey). Au milieu, exemplaire en couleur de la Bibliothèque Nationale. En bas, exemplaire en couleur de la collection Hauslab-Liechtenstein (bibliothèque du Congrès américain). On constate que les enluminures sont très différentes d'un exemplaire à l'autre. L'exemplaire du milieu confond dans un même figuré d'arbres feuillus de réelles forêts (sous le toponyme « Cauterets », par exemple), effectivement représentées sur la carte en noir et blanc, et les rochers d'altitude alentour, jusqu'à plus de 2300 m. Cette confusion est très fréquente dans les Pyrénées. L'exemplaire du bas évite cette erreur, en coloriant par un à-plat vert les seules forêts. Dans d'autres régions de France (feuille de Briançon par exemple), les couleurs de l'exemplaire de la Bibliothèque Nationale respectent mieux le levé d'origine des forêts que celles de l'exemplaire de la collection Hauslab-Liechtenstein.

Où voir et télécharger la carte de Cassini ? Quelles sont les versions disponibles ?

La carte de Cassini peut être consultée sur de nombreux sites Internet, mais tous se rapportent à quatre exemplaires papier seulement, noir et blanc ou couleur, en première édition ou en édition finale. Nous présentons ici les sites les plus intéressants :

- le site de David Rumsey (www.davidrumsey.com, ou rumsey.geogarage.com). Il s'agit là d'une première édition, en version noir et blanc. Les feuilles étaient initialement reliées dans un atlas. Elles peuvent être téléchargées individuellement (à la résolution de 300 ppp environ). C'est l'exemplaire que nous avons utilisé pour notre travail de vectorisation des forêts. Une version à plus petite échelle de la carte peut être affichée dans Google Earth, avec toutes les fonctionnalités qu'offre ce logiciel ;
- le site de la Bibliothèque Nationale de France (gallica.bnf.fr). On y trouve une première édition, en version enluminée et découpée, et l'une des dernières, dite de 1815, en noir et blanc et non découpée. L'exemplaire en couleur est souvent dit, de façon erronée, « de Marie-Antoinette ». Un site personnel (journand.free.fr/outils/casimir) permet de télécharger ces mêmes feuilles, en couleur et en noir et blanc (résolution de 165 ppp environ) ;
- le site de l'EHESS (cassini.ehess.fr), qui présente la même édition en couleur que celle de la Bibliothèque Nationale. Mais, ici, les 21 morceaux de chaque feuille ont été réassemblés par informatique et les feuilles assemblées en une unique carte de France. Ce site apporte en supplément des informations historiques sur la démographie et les changements de nom de toutes les communes de France ;
- le géoportail de l'IGN (www.geoportail.fr), où l'on peut, en ligne, superposer le même exemplaire en couleur que précédemment, assemblé par l'EHESS, à de multiples autres couches d'informations. On peut aussi, sur le même site, télécharger la version noir et blanc dite de 1815 de chaque feuille à la résolution de 300 ppp. La qualité du scan est excellente. Nous conseillons l'utilisation de cette version pour des travaux géomatiques ;
- le site de la bibliothèque du Congrès américain (www.loc.gov), qui présente l'exemplaire en couleur de la collection Hauslab-Liechtenstein. Il s'agit d'une première édition, non découpée. Les feuilles peuvent être téléchargées à 300 ppp ;
- le site CartoCassini (<http://www.cartocassini.org/cartecassini/france.htm>) qui regroupe sur une même page l'accès à une visualisation rapide des 4 versions précédentes de la carte de Cassini, sans téléchargement possible.



© D. Vallauri

MÉTHODE DE DIGITALISATION DES FORÊTS

La carte de Cassini numérisée

Scannage

Les feuilles ont été scannées par David Rumsey à partir d'un atlas relié des cartes de Cassini en 2 volumes qu'il détient (<http://www.davidrumsey.com>). Il comprenait 181 feuilles au 1:86 400 en noir et blanc. Le scannage a été réalisé avec une chambre Sinar X (4x5) équipée d'un dos PhaseOne Powerphase FX permettant un scannage à 10 500 x 12 600 pixels en 8 bits RGB (380 Mo). La qualité des images obtenues est excellente.

Géoréférencement

Il a été effectué par David Rumsey. Les scans ont été assemblés en 18 blocs de 10 feuilles environ, en se basant sur les indications de position portées aux bords de chaque feuille. Chaque bloc a été ensuite géoréférencé séparément. Au total, 650 points d'amer environ ont été utilisés sur l'ensemble du territoire. Une transformation polynomiale d'ordre 3 a été appliquée à chaque bloc.

La carte de référence actuelle employée pour déterminer la position des points d'amer est la couche *gaz.sdc* de la *Digital Chart of the World* (« carte numérique du monde »). Cette carte est principalement issue des cartes de navigation aérienne au 1:1 000 000 de l'agence militaire américaine de cartographie. Un index géographique des noms (*gazetteer*) est associé à cette carte du monde. L'emplacement des villages qui y est indiqué et qui a été utilisé pour géoréférencer la carte de Cassini a été obtenu par l'armée américaine en digitalisant le coin inférieur gauche de la première lettre du nom du village sur ses cartes de navigation aérienne. La précision de positionnement des informa-

tions dans cet index géographique des noms de lieu est faible, de 500 à 2200 m seulement (1600 à 7300 pieds, erreur circulaire au seuil de 90%).

Ce processus de géoréférencement est de qualité moyenne en raison (i) du processus d'assemblage initial en blocs de feuilles et (ii) de la faible qualité des coordonnées de référence. Une image composite globale a été finalement fabriquée à partir des 18 blocs géoréférencés.

La digitalisation des bois et forêts

Constitution de la couche forestière

A partir des images raster de la carte de Cassini géoréférencée, nous avons digitalisé les contours des bois et forêts, quelle que soit leur taille. Ce travail avait été déjà réalisé pour certaines parties de la France : i) en zone méditerranéenne, les massifs forestiers de surface supérieure à 1000 ha, par le WWF (Vallauri *et al.*, 2009) ; ii) en région Rhône-Alpes, toutes les forêts de surface supérieure à 100 ha par la DRAAF Rhône-Alpes (Camus, 2010). Ces digitalisations ont été reprises et complétées.

La vectorisation a été réalisée à l'aide du logiciel ESRI ArcInfo. Les métadonnées de chaque couche sont jointes en annexe 8. Ce travail de digitalisation (181 feuilles) est conséquent. Il a nécessité plus de 360 heures de digitalisation et de vérification pour l'ensemble de la France.

La mesure du travail

Digitaliser l'ensemble des contours forestiers, redresser les couches obtenues, les vérifier et les corriger... est un travail géomatique long et minutieux. Réalisé par Audrey Grel et vérifié par Colette Favre et Evelyne Granier, nous l'évaluons à environ 10 semaines de géomaticien :

- digitalisation des limites et du tableau d'assemblage : 52 heures

- digitalisation des contours forestiers : 240 heures

- corrections, vérifications et redressement : 65 heures

Les figurés de Cassini désignant les bois et forêts

La légende de la carte de Cassini a varié au fil des feuilles. Le figuré le plus fréquent est une juxtaposition d'arbres, avec parfois – rarement – une différenciation entre feuillus et résineux. Les figurés de certaines feuilles, plus ou moins lâches ou explicites, ont dû être interprétés. Pour chaque feuille de la carte de Cassini, des choix ont été effectués lors de la digitalisation pour définir les zones que nous avons considérées comme forestières et celles qui ne l'étaient pas.

Les différents figurés d'arbres retenus comme représentant les forêts sont au nombre de 18. On en trouvera une illustration à la planche 1, et la liste complète en annexe 1.

L'affectation à la forêt reste ponctuellement difficile et discutable. C'est une interprétation qui cherche à conserver les zones certainement boisées, quelle que soit leur qualité ou densité, impossible à connaître par la carte. Ainsi, nous n'avons pas fait de distinction entre les figurés plus ou moins denses, lorsqu'ils étaient en continuité. Pourtant, ces figurés différents peuvent représenter des occupations du sol différentes, comme nous avons pu le vérifier ponctuellement.

La délimitation des contours forestiers

Les arbres qui représentent les forêts sont dessinés, en accord avec l'orientation de la carte, avec leur pied au sud et leur houppier au nord. La taille de ces figurés d'arbre varie selon les feuilles de la carte. En moyenne, ils s'étendent sur 100 mètres du pied au sommet. Mais nous avons observé des valeurs beaucoup plus élevées, jusqu'à 530 mètres sur la feuille Vieux Boucaut (n°138) par exemple. L'analyse de la carte et de ses minutes montre que les dessinateurs représentaient le plus souvent ces arbres entièrement à l'intérieur des limites forestières réelles qu'ils voulaient indiquer. La délimitation des figurés forestiers a donc été faite en suivant, au sud, le pied des arbres et, au nord, leur sommet.

Les trouées visibles, avec ou sans indication de constructions, ont été exclues de la couche des massifs forestiers.

Lorsque des entités linéaires (routes, rivières...) traversent un massif, leur surface a été confondue avec celle du massif forestier tant que leur largeur était en moyenne inférieure à 150 m. Au-dessus de cette largeur seuil, le massif est fragmenté en plusieurs polygones.

Planche 1. Figurés retenus comme forestiers

• Boisements représentés par des figurés lâches

Cahors (n°36)



Bayonne (n° 139)



Roquefort (n° 106)



**• Contraste entre figurés de densités différentes.
Seules les zones à forte densité ont été retenues comme bois.**

Perpignan (n°59)



Colmar (n°163)



Narbonne (n°58)



Planche 2. Figurés non retenus comme forestiers

• **Landes, maquis, garrigues, prés, marécages...**

Avignon (n°122)



EvauX (n°12)



Le Blanc (n°31)



• **Vignes**

Avignon (n°122)



Nismes (n°91)



EvauX (n°12)



Planche 3. Classement des trouées en forêt ou hors forêt

- Les trouées, avec indication de constructions, ont été exclues

Bitche - Landau -
Weissembourg (n°161)



Castillonez (n°72)



Lons-le-Saunier (n°116)



- Les trouées, sans indication de constructions, ont été elles aussi considérées comme non forestières

Mézières - Sedan (n° 78)



Verdun (n° 110)



Toul (n°111)



Planche 4. Inclusion ou exclusion des linéaires intra-forestiers

- Les linéaires (routes, rivières...) traversant le figuré de la forêt, dont la largeur est inférieure à 150 mètres, ont été inclus dans la forêt.

Vieux Boucaut (n°138)



Viviers (n°90)



Besançon (n°146)



- Les linéaires de plus de 150 m de large avec absence de figurés forestiers conduisent à la fragmentation de la forêt.

Rocroi (n°77)



ANALYSE CRITIQUE DES INFORMATIONS FORESTIÈRES DE LA CARTE DE CASSINI

Des critiques anciennes

Les forêts sont, en surface, la plus importante catégorie d'utilisation du sol représentée sur les cartes de Cassini, avant les vignes et les zones de prés, landes et marais. Pourtant, on ne connaissait jusqu'à maintenant que très mal la qualité de cette information.

Dès sa publication, la représentation des forêts sur la carte de Cassini est l'objet de critiques. Monique Pelletier écrit (2002) : « Les reproches des utilisateurs de la carte de France, qui espèrent un tableau fidèle de leur propre région, vont essentiellement porter sur l'omission de certains objets : châteaux, fermes, petits ruisseaux, chemins, bois, etc. ». Mais elle ne donne pas de référence précise concernant ces reproches.

Arthur Young, agronome britannique, nous livre un avis particulièrement éclairé puisqu'il a à la fois travaillé de longues heures sur la carte de Cassini et parcouru la France par trois fois entre 1787 et 1790, décrivant avec minutie ses campagnes. Or il écrit en 1792 : « (...) il faut remarquer qu'il n'y a que les bois d'une étendue considérable qui soient indiqués sur les cartes [de Cassini]... ». C'est là, à notre avis, la critique la plus fiable sur l'exhaustivité de la représentation des forêts sur la carte de Cassini.

Varenne de Fenille, en 1791, écrit à propos de l'estimation de la surface forestière de la France publiée par Telles d'Acosta la même année, d'après la carte de Cassini : « L'auteur a fait son arpentage d'après la carte générale de l'observatoire. Il n'a donc pu juger que par une approximation nécessairement fautive, puisqu'il n'a eu aucun égard aux clairières, qui

certainement n'ont pas été dessinées dans la carte. D'un autre côté, il n'y a point été fait mention des petits bois de trente, cinquante, quatre-vingts arpents⁴, et cependant il en existe un grand nombre. Ces deux erreurs étant en sens contraire, on peut penser qu'elles se compensent. » (Varenne de Fenille, 1807, p. 66). En fait, ces deux erreurs ne se compensent probablement pas. Tout dépend de ce qu'on appelle clairière. A cette époque, les clairières peuvent correspondre soit à des terres cultivées au sein d'îlots de territoire intra-forestier (figure 10), soit à des landes, prairies ou pelouses issues de forêts dégradées par la surexploitation du bois ou le pâturage. Si l'on veut comparer les évolutions de surface des forêts entre Cassini et aujourd'hui, il nous paraît plus adéquat de considérer comme territoire forestier ces anciennes zones ouvertes liées à la surexploitation. Même si elles avaient perdu momentanément leurs arbres, elles n'avaient pas perdu leur vocation forestière. Cela est d'autant plus vrai si l'on s'intéresse à la continuité de l'état boisé. C'est principalement la mise en culture (labour, fertilisation) qui la rompt. Si l'on veut connaître l'ampleur de cette surestimation potentielle annoncée par Varenne de Fenille, il faudrait estimer dans quelle proportion les clairières intra-forestières *cultivées* n'ont pas été représentées par Cassini. Même s'il semble bien que de nombreux essarts intra-forestiers aient bien été représentés (figure 10), très certainement lorsqu'ils contenaient une ferme, un travail plus systématique de comparaison avec d'autres cartes de la même époque serait à faire si l'on veut répondre précisément à cette question.

Rougier de la Bergerie (1817) nous livre un avis opposé à Young et Varenne de Fenille : « Cas-

⁴ 15, 26 et 41 ha. 1 arpent ≈ 0,51 ha.



Figure 10. Feuille de Luxeuil (n°144). Au sud-est de Darney, les nombreux essarts intra-forestiers sont bien représentés sur la carte de Cassini.

sini, dans sa carte monumentale, a bien certainement marqué toutes les forêts, même les bois et les boqueteaux... » (p. 182). Mais il plaide avec beaucoup de force dans son ouvrage pour la défense des forêts, et veut montrer que le taux de boisement a atteint un niveau très bas en France. Huffel (1904) reprend l'avis de Young : « (...) la carte de Cassini, malgré la grandeur de son échelle, ne porte que les massifs d'une certaine importance ». Devèze (1982), qui reprend la critique de Varenne de Fenille sur l'absence des clairières, est le seul à conclure que les surfaces forestières sont surestimées sur la carte de Cassini : « (...) car, même si Cassini n'a pas reproduit les boqueteaux à cause de l'échelle de sa carte, il y avait dans l'espace reconnu comme forestier de nombreux vides, friches, broussailles (...) » (p. 182).

Plus récemment, certaines études de géographie historique concluent à une sous-estimation des surfaces forestières, comme ici aux environs de Toulouse : « (...) sur la carte de Cassini, seuls les bois les plus étendus ont été marqués et encore leurs limites sont-elles tracées d'une manière quelque peu fantaisiste (le dessin donné à la forêt de Bouconne en est la preuve) » (Henry, 1943, p. 201).

Plusieurs questions se posent finalement à propos de la représentation des surfaces forestières sur la carte de Cassini :

- la position des bois est-elle précise ? Au-delà de la seule précision de positionnement de la

trame des points géodésiques de levé (églises et signaux principalement), quelle est la précision du positionnement relatif des bois par rapport à ce réseau ? Des mesures étaient-elles effectuées pour localiser les limites des bois ? - la représentation des bois est-elle exhaustive ? Si elle ne l'est pas, peut-on estimer la surface manquante ?

- que signifient les différents figurés utilisés pour représenter les forêts ? Sont-ils de simples variantes d'un seul et même figuré, la forêt, ou représentent-ils des types de couvert différents ? Nous n'étudierons pas ici cette dernière question, car nous n'avons pas différencié, dans la carte vectorisée proposée aujourd'hui, les divers types de figurés.

Erreur de positionnement dans la carte de Cassini

On peut retenir que, dans notre carte des forêts de Cassini, l'erreur moyenne de positionnement des limites forestières est de l'ordre du kilomètre.

L'erreur de positionnement des limites forestières dépend principalement des trois facteurs suivants :

• **1. la qualité de localisation des clochers** ou signaux sur la carte de Cassini. Nous avons

conduit une analyse spécifique en utilisant des scans et géoréférencements de haute qualité pour 17 feuilles de la carte. Sur les 340 points d'amer étudiés (20 par feuille), l'erreur moyenne de Cassini est de 281 m (erreur quadratique moyenne après transformation de Helmert). L'erreur médiane est de 142 m. 34% des points ont une erreur de positionnement supérieure à 195 m, erreur maximale que se fixait Cassini... On retrouve une erreur du même ordre que celle annoncée sur le site web de l'EHESS (300 m, mais sans précision du mode de calcul de l'erreur). Mais l'erreur maximale indiquée sur le même site est beaucoup plus faible (485 m) que celle que nous observons (jusqu'à 1510 m pour 340 points d'amer seulement) ;

• **2. la qualité de la localisation des contours forestiers** par les ingénieurs de Cassini par rapport aux points de repères que constituaient les clochers des églises ou les signaux, à partir desquels étaient relevées ou dessinées les positions des bois et forêts. L'erreur est certainement plus élevée que pour les clochers. Nous avons quantifié l'erreur de positionnement d'éléments ponctuels remarquables autres que les clochers par une analyse spécifique sur les mêmes scans que précédemment, de haute qualité, à partir de 60 points d'amer, à raison de 15 sur 4 feuilles. Nous n'avons utilisé que 5 types de points d'amer relativement faciles à mettre en correspondances entre la carte de Cassini et la carte actuelle : coudes et confluences de rivières, coudes et intersections de routes, ponts. Pour chaque carte, les transformations ont été calculées sur l'ensemble des points disponibles, clochers et non clochers. On constate que l'erreur (quadratique) moyenne passe de 351 m pour les clochers à 612 m pour les autres éléments de la carte. L'erreur est probablement plus forte encore pour les contours forestiers.

Il serait possible, bien que difficile, de quantifier avec une certaine exactitude l'erreur de positionnement des limites de bois en les comparant avec les limites actuelles, lorsqu'il n'y a pas eu de changement d'usage du sol, et après géoréférencement précis des villages alentours. Ou par comparaison avec des cartes plus précises établies à la même époque. Ce travail n'a pas été fait. Mais serait-il vraiment utile ? Plu-

sieurs indices suggèrent en effet que ce positionnement est très imprécis.

Le positionnement des forêts était probablement en partie basé sur des observations par les ingénieurs, depuis les clochers ou lors de leurs déplacements, mais aussi sur les informations fournies par les notables locaux et les plans anciens, ajoutant alors des sources d'erreur supplémentaires. Cassini n'a jamais caché le caractère approximatif de la représentation des forêts. Dans ses objectifs généraux : « (...) la Topographie [qui inclut la représentation des forêts] de la France étoit sujette à trop de variations, pour pouvoir l'assujettir à des mesures fixes & invariables ; la seule position des Clochers étoit plus constante, & par conséquent déterminable » (Cassini de Thury, 1754). Dans son mode d'exécution : « Au travail de la journée devoit succéder celui de cabinet : il falloit, sur l'idée qu'ils avoient prise de la situation du pays, dessiner à peu près les hauteurs, les vallons, le contour des bois, la direction des chemins, le contour des rivières, la nature du terrain » (Cassini de Thury, 1754).

On remarque rapidement, en examinant la carte, que les contours des bois ont une forme le plus souvent arrondie, sans angles nets. L'état de la division de la propriété foncière en France entre 1749 et 1790 est déjà tel qu'une carte précise devrait faire apparaître des formes plus ou moins quadrangulaires dans toutes les régions de France, ce qui n'est pas le cas. Ces formes plus anguleuses apparaissent par contre nettement sur les nombreuses cartes régionales, plus précises, réalisées à la même époque.

Deux autres points techniques limitent la précision de la représentation des bordures de bois. Il n'y a pas de trait délimitant ces bois. La séparation entre terrains forestiers et non forestiers est donc floue. De plus, la limite du bois est indiquée par la présence d'une végétation forestière symbolisée. Or, les éléments de base utilisés pour cette représentation de la forêt ont souvent une taille de quelques millimètres, soit plusieurs centaines de mètres sur le terrain. Ces deux choix, absence de trait et utilisation d'éléments figuratifs pour délimiter la forêt sont encore très fréquents chez les cartographes du XVIII^e siècle et ne seront abandonnés qu'à l'orée du XIX^e, pour la carte d'Etat-Major en particulier.

• **3. la qualité du scannage des feuilles et du géoréférencement** qui a été appliqué pour superposer la carte ancienne aux cartes actuelles. Dans le cas de la carte scannée et géoréférencée par David Rumsey, que nous avons utilisée pour notre travail, l'erreur quadratique moyenne est de 770 m pour les éléments du paysage autres que les clochers (546 m en valeur médiane, 2231 m au maximum).

Exhaustivité de la représentation des bois

La question de l'exhaustivité est très importante puisqu'elle conditionne à la fois la possibilité d'identifier les forêts récentes dans notre paysage actuel et l'exhaustivité de la carte des forêts anciennes. Forêts récentes ou anciennes font ici référence à leur absence ou présence à la date de réalisation de la carte de Cassini. Si la carte de Cassini est exhaustive, tout bois existant aujourd'hui mais non représenté sur Cassini est une forêt récente, et il n'y a pas d'autres forêts anciennes que celles présentes à la fois sur Cassini et aujourd'hui. Mais si la carte de Cassini n'est pas exhaustive, on ne peut alors identifier de façon certaine aucune forêt récente dans le paysage actuel, et la carte des forêts anciennes n'est pas exhaustive.

Plusieurs arguments nous amènent à penser que la carte de Cassini est loin d'être exhaustive. Ces arguments sont bibliographiques et issus de la comparaison de la carte de Cassini soit avec d'autres cartes réalisées à la même époque, soit avec les premières statistiques forestières de la France.

Comparaison avec le cadastre d'Alsace

La carte de Cassini peut être comparée avec d'autres cartes, plus ou moins contemporaines, et levées à des échelles plus fines. Parmi celles-ci, le cadastre d'Alsace, réalisé entre 1760 et 1764 sous les ordres de l'intendant Jacques Pineau, Baron de Lucé (Tschaen, 2001). Pour chaque ban a été dessiné un plan par masses de culture, à l'échelle du 1/5 200. La carte de Cassini date de la même période exactement, puisque 80% de l'Alsace est levée entre 1757 et 1761.

L'exemple de la commune de Rougemont, dans l'actuel Territoire de Belfort, montre des différences importantes entre les deux cartes. Le taux de boisement, d'après le cadastre, est de 56% alors que la carte de Cassini montre un boisement de presque moitié moindre (30%). Les bois communaux en particulier ne sont pas représentés. De plus, à plusieurs endroits, la carte de Cassini indique des bois là où le cadastre indique des pâturages (aplats verts, figure 11).

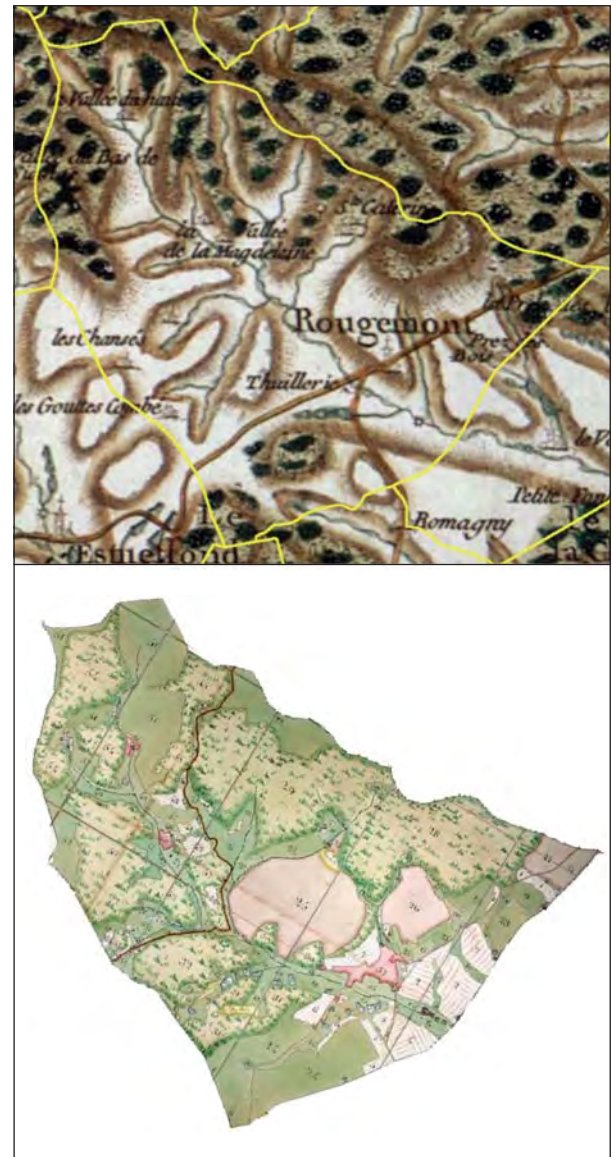


Figure 11. Ban de Rougemont (90). En haut, carte de Cassini, feuille de Luxeuil (n°44), levés 1758-1761. En bas, cadastre de Pineau de Lucé, levés 1760-1764. Les bois sont figurés en crème bordé de vert (bois seigneuriaux) et en rose (bois communaux, deux taches au centre du ban).

Nous avons systématisé et quantifié cette comparaison pour 33 communautés du cadastre d'Alsace, correspondant au territoire de 33 communes actuelles⁵ du Territoire de Belfort. Dans cette zone, nous avons vectorisé et géoréférencé les contours forestiers du cadastre d'Alsace, et comparé le taux de couvert forestier obtenu avec celui de la carte de Cassini, sur la même emprise. Les deux cartes (figure 12) montrent des boisements globalement très concordants, au premier coup d'œil. Mais une analyse plus fine montre des différences importantes, aussi bien sur la surface totale, la répartition de la taille des massifs cartographiés et la présence ou l'absence de certains gros massifs. Sur les 1630 777 ha de territoire total étudié, le taux de boisement est de 27,6% selon le cadastre d'Alsace et de 24,9% selon Cassini. En valeur relative, il faut augmenter le taux de boisement de Cassini de 11% pour obtenir celui du cadastre.

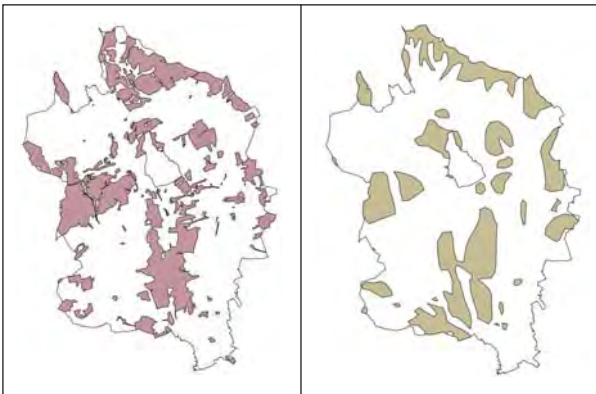


Figure 12. Comparaison entre le cadastre d'Alsace (à gauche), établi entre 1760 et 1764, et la carte de Cassini (à droite), dressée entre 1758 et 1762 (feuilles 144 et 164).

La carte de Cassini ne comporte que 32 massifs différents, quand le cadastre en indique 103, pour d'évidentes raisons d'échelle de réalisation de la carte. La comparaison des deux cartes, et l'étude de la distribution de la taille des massifs (figure 13) montrent que cette sous-estimation, par rapport au cadastre, se fait plus particulièrement sur les petits massifs.

⁵ Angeot, Anjoutey, Bessoncourt, Bethonvilliers, Bourg-sous-Châtelet, Chèvremont, Cunelières, Denney, Eguenigue, Ettueffont p.p., Felon, Fontaine, Fontenelle, Fousse-magne, Frais, Gros-magny, Lachapelle-sous-Rougemont, Lagrange, Larivière, Leval, Menoncourt, Montreux-Château, Pérouse, Petitefontaine, Petit-Croix, Petitmagny, Phaffans, Reppe, Romagny-sous-Rougemont, Roppe, Rougemont-le-Château, Vauthiermont et Vétrigne.

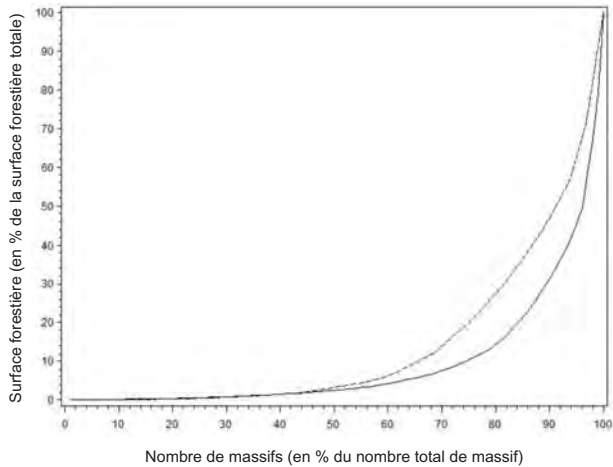


Figure 13. Comparaison de la distribution des tailles des massifs entre Cassini et le cadastre d'Alsace. Courbes de la surface forestière cumulée en fonction du nombre de massifs cumulés. En trait plein, cadastre d'Alsace, en trait pointillé, carte de Cassini. Les surfaces forestières se situent plus dans les gros massifs sur la carte de Cassini que sur le cadastre d'Alsace.

La taille minimale des massifs représentés sur la carte de Cassini varie de 2 à 5 ha, alors que le cadastre prend en compte des surfaces beaucoup plus petites. Mais même si l'on applique un seuil de filtrage de 5 ha aux deux cartes avant comparaison, la différence des taux de boisement est encore de 27,0% contre 24,8%, très proche de la valeur précédente.

La carte de Cassini n'indique pas certains massifs de moyenne ou, même, grande taille. Plusieurs îlots de plus de 100 ha disparaissent complètement sur la carte de Cassini, au nord, au nord-ouest et au centre de la zone étudiée.

On retrouve aussi sur cette comparaison un point déjà précédemment signalé : les contours des forêts dessinés par Cassini sont plus grossièrement dessinés que ceux du cadastre, encore une fois en partie pour d'évidentes raisons d'échelle de réalisation de la carte.

Comparaison avec le cadastre de la Généralité de Paris

Le cadastre de la Généralité de Paris est dressé entre 1776 et 1791, sous la direction de Bertier de Sauvigny, au 1 : 6 000 environ. C'est aussi un cadastre par masses de culture (Touzery, 1995b). Or, c'est la Généralité de Paris qui a été choisie par Cassini de Thury comme pre-

mière zone de France à cartographier. La carte y est levée dès les années 1750. Elle est antérieure, parfois jusqu'à 40 ans, au cadastre. La comparaison est *a priori* moins facilement interprétable que précédemment.

Une première approche visuelle sur quelques cas montre rapidement que de nombreux bois du cadastre de Bertier ne se retrouvent pas dans la carte de Cassini. Nous en présentons deux en figures 14 et 15.

Grâce au travail de Mireille Touzery (1995a), nous avons pu saisir les informations statistiques relevées par les arpenteurs de Bertier de Sauvigny, transformées en hectares selon les mesures locales. Nous n'avons retenu que les paroisses dont la surface totale annoncée par les arpenteurs de Bertier de Sauvigny ne différait pas de plus de 5% de la surface actuelle de la commune (figure 16). Nous avons échan-



Figure 14. Paroisse de Mittainville (78). En haut, carte de Cassini (Evreux, n°26, levés 1750-1751). En bas, cadastre de Bertier de Sauvigny (levés 1788, cf. Touzery, 1995b). 188 ha de bois n'apparaissent pas sur le territoire de la commune tel que représenté par Cassini, soit 27% de sa surface totale.



Figure 15. Sud de la commune de Méré (78). En haut, carte de Cassini (Evreux, n°26, levés 1750-1751). En bas, plan d'intendance de Bertier de Sauvigny (levés 1777, cf. Touzery, 1995b). Près du lieu dit Egremont, dans le coin sud-ouest de la paroisse, un bois de 50 arpents et 32 perches (26 ha) n'est pas dessiné sur la carte de Cassini, mais représenté avec sa trame d'allées forestières sur le cadastre de Bertier.

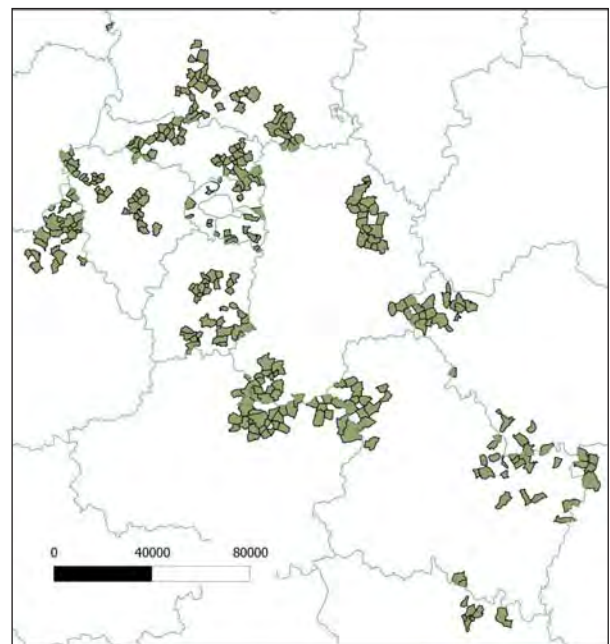


Figure 16. Communes échantillonnées pour la comparaison de la carte de Cassini avec le cadastre de Bertier de Sauvigny de la Généralité de Paris (312 communes). Les limites départementales sont superposées.

tillonné ces paroisses dans tous les départements actuels de la Généralité, en prenant, au hasard, un bloc de communes dans chaque département. 314 paroisses au total ont été sélectionnées. La surface totale actuelle du territoire couvert par les communes correspondantes est de 351 440 ha. La surface arpentée sur le cadastre de Bertier est de 348 586 ha, soit 0,8% de moins. Cette différence peut être due aux erreurs de mesure des arpenteurs, aux imprécisions lors de la conversion des multiples mesures de longueurs utilisées à l'époque (Touzery, 1995b), aux imprécisions sur la mesure des limites actuelles des communes ou aux changements de périmètre des communes.

Le pourcentage de couvert forestier indiqué par le cadastre de Bertier est de 13,0% (12,9% à 13,7% du territoire actuel, selon que l'on considère que la surface « manquante » dans Bertier par rapport à la surface actuelle était boisée ou non). Celui calculé dans les mêmes communes sur la carte de Cassini est de 10,9%. Il faut augmenter, en valeur relative, de 19% (de 18% à 26%, selon que l'on considère que la surface « manquante » dans Bertier par rapport à la surface actuelle est boisée ou non) le couvert Cassini pour retrouver la valeur du couvert forestier du cadastre de Bertier, une valeur plus élevée que celle relevée en Alsace. Nous n'avons pas observé de tendance géographique nette dans les différences entre cadastre et carte, si ce n'est que l'Essonne, l'Oise et le Val-d'Oise montrent une sous-estimation par Cassini relativement plus forte que les autres départements.

Il y a un décalage temporel non négligeable entre les deux cartes. Les levés de Cassini ont eu lieu dans la première partie de la seconde moitié du XVIII^e siècle, ceux de Bertier dans la seconde partie. L'écart moyen de passage entre les deux levés est de 33 ans pour les communes que nous avons étudiées. Or, il est très probable que cette zone du royaume, proche de Paris, ait subi un déboisement relativement important au cours de la seconde moitié du XVIII^e siècle. On aurait ainsi dû observer un taux de boisement sur Cassini supérieur à celui de Bertier, alors que c'est l'inverse qui se produit. On peut en déduire que la sous-estimation des forêts par Cassini dans cette zone est en réalité encore plus importante que ne l'indique la comparaison avec le cadastre de Bertier.

Comparaison avec la carte de Guyenne

Suite à un accord passé avec la Province de Guyenne, les minutes de la carte réalisée par la Province au 1/43 200 ont été utilisées, après réduction de 1/2, pour établir la carte de Cassini (Dainville, 1957). On constate qu'il y a fréquemment une simplification qui est opérée lors de la réduction (opération dite aujourd'hui de « généralisation »). Il y a souvent aussi, lors de cette étape, ouverture des massifs continus de façon à faire mieux apparaître les fonds de vallées et le dessin des reliefs. En comparant la carte de Cassini (feuille d'Agen, n°73) à la carte de Guyenne (feuille n°54), levée entre 1769 et 1778, on constate (figure 17) que lors de la réduction, de nombreux petits massifs ont disparu, comme les deux massifs situés sur la rive ouest de l'Auvignon. Le plus au nord de ces deux massifs a une surface d'environ 18 ha. Un peu plus à l'ouest, au lieu-dit Bousquetara, un bois passe de la rive est à la rive ouest du Garaillon. Est-ce par erreur ou pour améliorer la lecture de la carte ?



Figure 17. Carte de Cassini (feuille d'Agen, n°73, en haut) et carte de Guyenne (n°54, en bas). La carte de Cassini est issue d'une réduction de moitié de la carte de Guyenne ou de ses minutes. Lors de cette réduction, de nombreux petits massifs ont disparu, d'autres ont été déplacés.

Comparaison avec l'Atlas des routes de Trudaine

Une dernière source que nous avons consultée est l'Atlas des routes de Trudaine (Blond, 2008). Là encore, on constate le plus souvent une représentation plus réduite du boisement sur Cassini. L'exemple de la figure 18 montre aussi un phénomène intéressant et classique : pour représenter les reliefs, vus en perspective cavalière, Cassini a utilisé des traits et pointillés dessinés dans le sens de la pente. Ces traits disparaissent sous le figuré des forêts. Il y a donc un dilemme pour le cartographe et son graveur : mettre en avant la représentation des reliefs ou celle des forêts ? La comparaison suggère que le choix a, ici, été fait en faveur des reliefs. Cassini de Thury développe ce point dans son introduction à la carte (1754), en insistant sur le caractère essentiel d'une bonne représentation du relief : « ...la distinction des Pays de montagnes aux Pays unis [de plaine], font la partie la plus essentielle & la plus utile de la représentation d'une Carte » (p. 11).

De nombreuses autres comparaisons locales sont possibles, avec divers plans, en particulier forestiers, établis à des dates encadrant celles des levés de Cassini. Elles aboutissent toujours à la même conclusion, la sous-représentation des forêts par Cassini. Dans les zones de montagne à fort relief, difficilement accessibles, de grandes surfaces forestières n'ont pas été cartographiées. C'est le cas par exemple de la vallée du Vicdessos dans les Pyrénées ariégeoises où les plans de Froidour vers 1669 et de Dralet vers 1807 indiquent une continuité du boisement (Davasse & Galop, 1990), alors que la vallée apparaît totalement déboisée sur la carte de Cassini.



Figure 18. Cartographie des alentours de Bourgoin-Jallieu (38). En haut, carte de Cassini (Belley, n°118, levés de 1758 à 1760) ; en bas, Atlas des routes de Trudaine pour la Généralité de Grenoble (n°359, levés entre 1745 et 1780). La côte au sud de la route Bourgoin-Lyon est entièrement boisée sur l'atlas, partiellement sur la carte de Cassini.

MÉTHODE DE COMPARAISON AVEC LES FORÊTS ACTUELLES

Source de l'information forestière actuelle utilisée

Nous avons croisé la carte des forêts de Cassini avec les cartes des forêts actuelles disponibles. Pour cela nous avons utilisé deux sources d'information :

- la version 2006 de la carte européenne de l'occupation des sols Corine Land Cover (CLC). Cette carte est dite à l'échelle du 1:100 000, une échelle proche de celle de Cassini (1:86 400). Le positionnement des limites sur CLC est relativement précis, mais les objets ne sont représentés que grossièrement : les massifs forestiers par exemple n'y sont représentés qu'à partir d'une surface seuil de 25 ha (EEA, 2007). Elle n'est donc pas utilisable à grande échelle, au niveau de la commune par exemple ;
- la carte des forêts de l'Inventaire forestier national (IFN). Le croisement de la carte de Cassini avec la carte des forêts de l'IFN est plus précis, car les contours forestiers sont beaucoup plus fins. La taille minimale des bois représentés y est de 2,25 ha. A l'échelle nationale, cette dernière carte présente malheureusement un coût trop élevé dans le cadre du présent projet. La carte de Cassini n'étant pas elle-même très fine dans sa représentation des forêts, cette contrainte n'est finalement pas rédhibitoire.

Seule CLC a été utilisée pour la comparaison à l'échelle nationale. A l'échelle départementale, la carte des forêts de l'Inventaire Forestier National a pu être mobilisée pour le Var uniquement, grâce à la mise à disposition gratuite par le Centre Régional de l'Information Géomatique de la Région PACA (CRIGE PACA) des couches forestières correspondantes.

L'objet « forêts » dans les cartes actuelles

CLC représente l'usage des sols selon 44 types (appelés « postes »). Il a fallu choisir quels postes de la classification CLC devaient être regroupés sous l'appellation « forêt ». Dans cet objectif, nous avons croisé la carte CLC avec les cartes de l'Inventaire Forestier National dans trois régions où nous en disposons (Lorraine, grand Ouest de la France et PACA) (tableau 1).

Nous avons choisi de regrouper sous le vocable « forêt » les sept postes suivants :

- territoires agro-forestiers (code 244) ;
- forêts de feuillus (311) ;
- forêts de conifères (312) ;
- forêts mélangées (313) ;
- végétation sclérophylle (323) ;
- forêt et végétation arbustive en mutation (324) ;
- zones incendiées (334).

Le tableau 1 montre qu'un travail plus fin pourrait être effectué en adaptant la définition de la forêt à chaque région de France, en incluant par exemple dans la catégorie « forêt » les landes et broussailles dans le sud de la France, les vergers dans le nord...

CLC couvre tous les pays limitrophes de la France, sauf la Suisse (si ce n'est sur une bande de 5 km de large le long de la frontière), l'Andorre et les îles anglo-normandes. Le recouvrement avec la carte de Cassini est donc excellent. Il n'y a finalement que 1054 km² de la carte de Cassini (0,2% de sa surface totale) que nous n'avons pas pu croiser avec la carte des forêts actuelles.

Tableau 1. Comparaison entre l'occupation des sols CLC et la carte de l'IFN dans trois régions de France. Seuls les postes CLC présentant une proportion de forêt selon la carte IFN supérieure ou égale à 10% sont indiqués.

Poste CLC	Code CLC	% de forêt dans chaque poste selon la carte de l'IFN		
		PACA	Lorraine	Grand Ouest
Réseaux routiers et ferroviaire...	122	14		
Extraction de matériaux	131	23		
Décharges	132	19		
Chantiers	133	48		11
Espaces verts urbains	141	31	17	52
Équipements sportifs et de loisirs	142	25	12	16
Vergers et petits fruits	222			63
Oliveraies	223	16		
Prairies	231	15		
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	242	11		
Surfaces essentiellement agricoles...	243	38	16	30
Territoires agroforestiers	244	70		
Forêts de feuillus	311	93	91	85
Forêts de conifères	312	91	94	91
Forêts mélangées	313	91	85	85
Pelouses et pâturages naturels	321	21	10	
Landes et broussailles	322	53	15	15
Végétation sclérophylle	323	64		
Forêt et végétation arbustive en mutation	324	77	87	75
Plages, dunes et sable	331	15		
Végétation clairsemée	333	25	23	
Zones incendiées	334	89		
Marais intérieurs	411			14

Typologie de la matrice de transition

La comparaison entre la couche « forêts » de Cassini et les forêts actuelles permet d'identifier une matrice de transition à 2 x 2 cas possibles (boisé ou non boisé à chacune des deux dates). Ces 4 cas sont présentés dans le tableau 2.

Nous avons volontairement évité le terme de « forêt ancienne » pour désigner les zones désignées comme forestières à la fois sur la carte de Cassini et actuellement. Nous lui avons préféré

le terme de « noyau forestier ancien ». Ce choix a été fait en raison de la sous-estimation des petits bois sur la carte de Cassini et des erreurs importantes de positionnement des limites forestières. L'ancienneté identifiée par le croisement entre Cassini et la carte des forêts actuelles correspond surtout aux cœurs des gros massifs anciens. D'où ce terme de « noyau forestier ancien ». Pour les mêmes raisons, nous avons préféré désigner ce qui semble être des forêts récentes par le terme d'« autre boisement actuel ».

Tableau 2. Typologie de la matrice de transition entre les forêts de Cassini et la situation actuelle

Etat Cassini	Etat actuel (CLC ou IFN)	Dénomination	Remarques
forêt	forêt	Noyaux forestiers anciens	Ce sont les principaux noyaux de forêts anciennes, sans préjuger de leur histoire entre les deux dates
forêt	non forêt	Terrains déboisés à ce jour	Intervention d'une phase au moins de déboisement depuis le XVIII ^e siècle
non forêt	forêt	Autres boisements actuels	Reboisement artificiel ou colonisation naturelle suite à l'abandon des usages pastoraux et agricoles ou forêt ancienne non cartographiée par Cassini
non forêt	non forêt	Terrains non boisés stables	Zone agricole ou pastorale stable ou autre milieu, humide notamment, ou boisement non cartographié par Cassini et déboisé depuis

Redressement spécifique à l'échelle du département

Nous avons vu précédemment que l'erreur de positionnement géographique des objets de la carte des forêts de Cassini que nous fournissons en annexe est de l'ordre du kilomètre. Cela peut fortement impacter les résultats des comparaisons entre carte de Cassini et carte actuelle. L'exemple de la figure 19 montre, dans les Pays de la Loire, une zone de décalage systématique entre Cassini et Corine Land Cover. Les forêts de Cassini sont décalées de plus de 1 km vers le sud-sud-ouest par rapport à leur position réelle. Le géoréférencement général de la carte n'a pas éliminé ces erreurs locales. Avec un décalage de ce type, la surface des noyaux forestiers anciens est systématiquement sous-estimée et celle des forêts déboisées et des nouveaux boisements sur-estimée.

Pour une utilisation à l'échelle départementale de la carte de Cassini, un redressement plus fin que celui utilisé à l'échelle nationale est alors nécessaire. Nous avons, pour les 3 départements des Pyrénées-Orientales, du Var et des Hautes-Alpes, positionné sur la carte de Cassini et sur le SCAN 100 de l'IGN plusieurs centaines de points d'amer, en utilisant les clochers et les formes du relief (crêtes, sommets), des rivières, du trait de côte et des routes. A partir de ces liens de géoréférencement, la carte des forêts de Cassini a été déformée selon une transformation élastique. On pourra se référer à Favre *et al.* (2011) pour une description plus précise de la méthode. Ce géoréférencement local permet de diviser par deux ou plus l'erreur initiale de positionnement des points sur la carte (tableau 3).

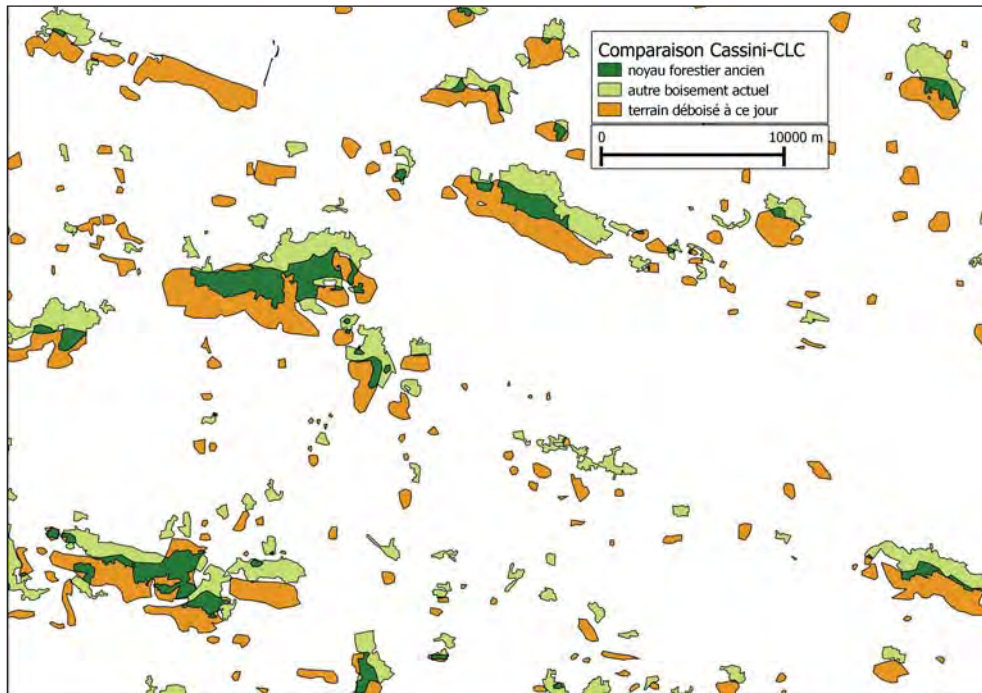


Figure 19. Comparaison entre les forêts de Cassini et celles de Corine Land Cover dans les environs de Chateaubriant (Loire-Atlantique). Un décalage systématique entre les deux cartes apparaît dans cette région

Tableau 3. Nombre de liens élastiques en fonction du type de lien et du département

		Département		
		Var	Hauts-Alpes	Pyrénées-Orientales
Type de lien	lieu-dit	10	20	4
	relief	268	316	169
	relief + rivière	96	46	21
	rivière	108	283	177
	rivière + route			2
	route	91	19	11
	route + relief			1
	sommet		4	2
	trait de côte	41		1
Statistiques	Nombre total de points d'amer	614	688	388
	Erreur quadratique moyenne dans la carte d'origine	633	1004	538
	Erreur quadratique moyenne après géoréférencement élastique (m)	319	432	251

LES FORÊTS DE CASSINI : PREMIÈRE APPROCHE

En un coup d'œil

La figure 20 présente les forêts de Cassini pour l'ensemble du territoire de la carte. On trouvera en annexe 3 la même carte découpée et agrandie par région administrative actuelle (cartes 3-01 à 3-21).

Image inédite, cette carte montre clairement les disparités de la répartition des forêts entre les régions. La géographie des forêts de Cassini s'ordonne suivant quelques grandes lignes :

- le quart nord-est de la France (Alsace, Lorraine, Bourgogne, est de la Champagne, Ardennes, Franche-Comté) est très boisé (>25%) ;
- les grandes forêts royales de plaine (forêts d'Orléans, de Rambouillet, de Compiègne...) ponctuent un bassin parisien cultivé ;
- les régions les plus faiblement boisées sont toute la façade ouest de la France, le massif central et le Languedoc ;
- dans la moitié sud de la France, seuls le Var, le sud des Préalpes en Rhône-Alpes, le littoral des Landes et la chaîne des Pyrénées montrent de grands massifs et un taux de boisement supérieur à la moyenne.

Nous détaillerons l'analyse à l'échelle régionale dans la partie suivante, illustrant ainsi à la fois les forêts de Cassini et leur comparaison aux forêts actuelles.

Les résultats chiffrés (surface, taux de boisement) sont résumés dans le tableau 4 et présentés plus en détail à l'annexe 6. Sur les 54,5 millions d'ha couverts par la carte de Cassini, 7,1 millions sont boisés, soit un taux de boisement de 13%. Sur les parties du territoire actuel de la France représentées par la carte de Cassini (52,6 millions d'ha), seuls 6,6 millions d'ha sont des forêts, soit un taux de boisement égal à 12,6 %.

Comparaison avec les statistiques forestières nationales du début du XIX^e siècle

Les chiffres obtenus peuvent être comparés à diverses estimations réalisées par le passé pour la France. Nous avons recherché tous les inventaires nationaux faits à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e. Les chiffres sont nombreux et varient selon les sources (Cinotti, 1996). Il serait trop long d'en faire ici la synthèse, qui fera l'objet d'une publication spécifique. Nous n'avons retenu que les chiffres qui nous sont apparus les plus intéressants, en terme de fiabilité en particulier, pour une comparaison avec Cassini.

En 1835 est publiée la première statistique nationale basée sur les résultats, encore incomplets, du cadastre (Anonyme, 1835). Fin 1834, 72% du territoire de la France est cadastré. Les forêts en occupent 16,3%. L'enquête de 1862 (Anonyme, 1868) confirme *a posteriori* ces chiffres provisoires, légèrement à la hausse. Le taux de boisement, d'après les résultats finaux du cadastre, était de 16,8% à la date moyenne de 1830, sur le même territoire que celui cartographié par Cassini (France actuelle hors Savoie, Comté de Nice et Corse) : 8,7 millions d'hectares de forêts sur un total de 52,2 millions d'hectares (surface totale cadastrée).

Nous avons calculé la surface forestière de la carte de Cassini sur la même emprise. Elle est de 6,6 millions d'hectares, sur une surface totale de 52,6 millions d'hectares (surface cartographiée), soit un taux de boisement de 12,6%. Il faut donc multiplier le chiffre de Cassini par 1,33 pour obtenir celui du cadastre. Or, la plupart des études historiques suggèrent que la tendance entre la seconde moitié du XVIII^e siècle et 1830 a été à une diminution importante de la surface forestière. Avant et pendant la Révolution française, de grandes surfaces de

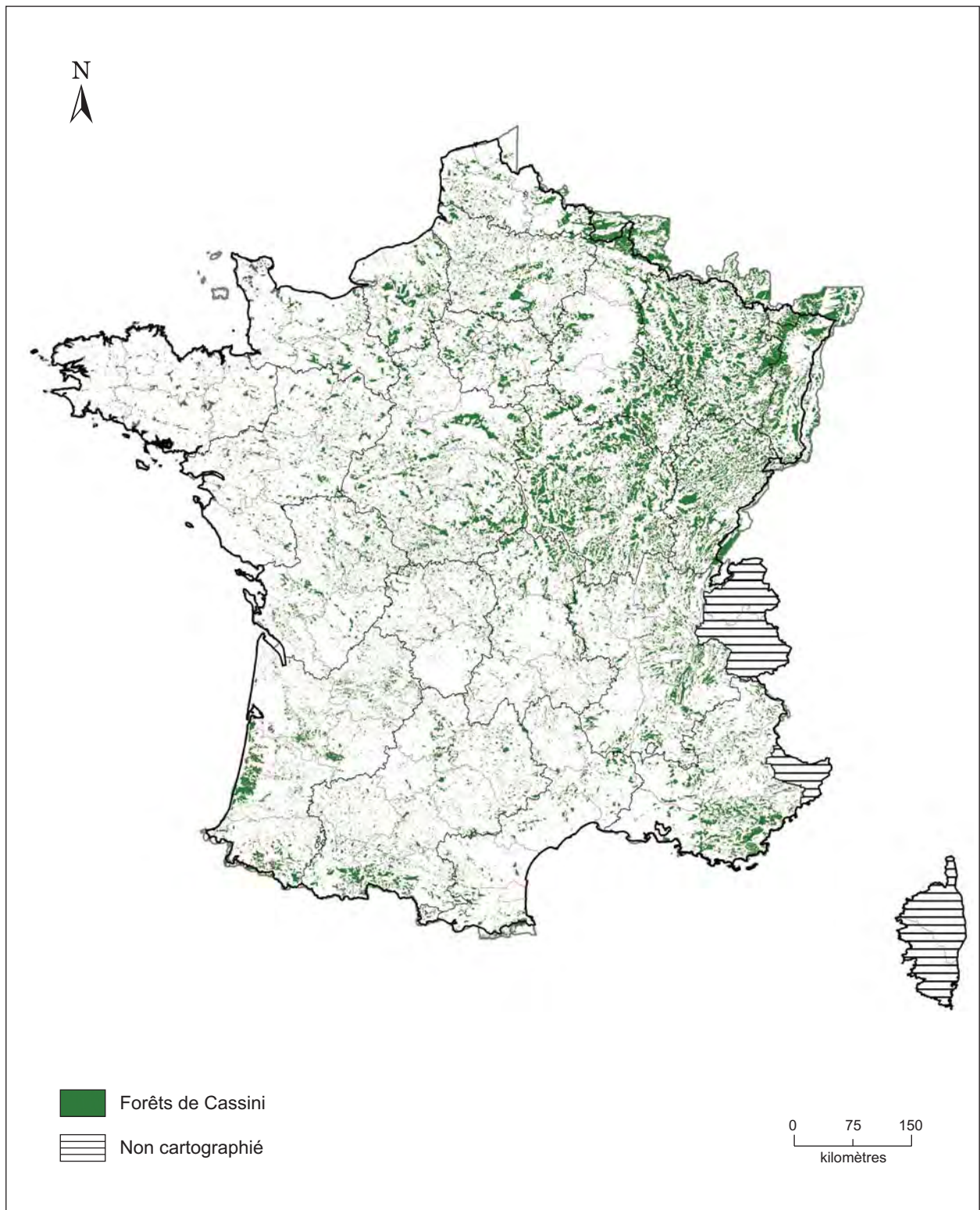


Figure 20. Carte des forêts figurant sur la carte de Cassini, en France et dans les pays limitrophes (© WWF/INRA).

Tableau 4. Surface, taux de boisement actuels et sur la carte de Cassini et facteur d'évolution des forêts par région. Les calculs sont effectués, même pour les forêts actuelles, sur la seule zone d'intersection des territoires cartographiés à la fois par Cassini et par Corine Land Cover. Les régions dont une partie n'était pas française à l'époque de Cassini ont une surface réduite. Tous les taux sont exprimés par rapport à la surface de l'ensemble du territoire cartographié.

	Forêts de Cassini		Forêts actuelles (CLC 2006)		Facteur d'évolution Forêt actuelle/ forêt de Cassini, en %	Terrains déboisés à ce jour		Noyaux forestiers anciens		Autres boisements actuels		Ensemble du territoire cartographié
	km ²	taux	km ²	taux		km ²	taux	km ²	taux	km ²	taux	
Cassini (ensemble de la carte y compris hors France actuelle)	70 780	13,0%	157 118	28,9%	222%	25 718	4,7%	45 062	8,3%	112 056	20,6%	543 670
Alsace	2 562	30,7%	3 362	40,3%	131%	596	7,1%	1 967	23,6%	1 395	16,7%	8 346
Aquitaine	3 730	8,9%	18 579	44,3%	498%	1 277	3,0%	2 453	5,9%	16 126	38,5%	41 895
Auvergne	2 325	8,9%	7 742	29,5%	333%	1 102	4,2%	1 224	4,7%	6 518	24,8%	26 264
Basse-Normandie	1 282	7,2%	1 519	8,5%	118%	653	3,7%	628	3,5%	890	5,0%	17 816
Bourgogne	8 340	26,3%	9 710	30,6%	116%	3 227	10,2%	5 113	16,1%	4 596	14,5%	31 763
Bretagne	917	3,4%	3 154	11,6%	344%	404	1,5%	513	1,9%	2 640	9,7%	27 119
Centre	5 283	13,4%	8 793	22,2%	166%	2 522	6,4%	2 761	7,0%	6 032	15,2%	39 566
Champagne-Ardenne	4 835	18,9%	7 050	27,5%	146%	1 177	4,6%	3 657	14,3%	3 392	13,2%	25 622
Franche-Comté	4 452	27,3%	7 305	44,8%	164%	936	5,7%	3 516	21,6%	3 789	23,2%	16 309
Haute-Normandie	1 745	14,1%	2 239	18,1%	128%	699	5,7%	1 046	8,5%	1 192	9,7%	12 355
Ile-de-France	1 499	12,5%	2 837	23,6%	189%	509	4,2%	990	8,2%	1 847	15,4%	12 022
Languedoc-Roussillon	1 516	5,5%	12 854	46,3%	848%	362	1,3%	1 154	4,2%	11 700	42,1%	27 772
Limousin	961	5,6%	6 002	35,3%	625%	530	3,1%	431	2,5%	5 571	32,7%	17 016
Lorraine	7 383	31,2%	8 959	37,8%	121%	2 130	9,0%	5 253	22,2%	3 707	15,6%	23 695
Midi-Pyrénées	3 364	7,4%	12 785	28,1%	380%	1 300	2,9%	2 063	4,5%	10 722	23,6%	45 526
Nord-Pas-de-Calais	1 298	10,4%	925	7,4%	71%	802	6,4%	496	4,0%	429	3,4%	12 464
Pays de la Loire	1 951	6,0%	2 789	8,6%	143%	1 143	3,5%	808	2,5%	1 980	6,1%	32 423
Picardie	2 573	13,2%	3 271	16,8%	127%	1 274	6,5%	1 299	6,7%	1 972	10,1%	19 504
Poitou-Charentes	1 878	7,2%	3 859	14,9%	206%	1 035	4,0%	843	3,2%	3 017	11,6%	25 971
Provence-Alpes-Côte d'Azur (partie cartographiée)	3 832	13,3%	13 384	46,3%	349%	794	2,7%	3 038	10,5%	10 346	35,8%	28 908
Rhône-Alpes (partie cartographiée)	4 335	12,5%	13 630	39,3%	314%	1 526	4,4%	2 809	8,1%	10 822	31,2%	34 706
Total France	66 059	12,6%	150 745	28,6%	228%	23 999	4,6%	42 060	8,0%	108 686	20,7%	526 212

bois ont été défrichées pour mise en culture. Pour la période prérévolutionnaire, on se référera à l'article de synthèse de Devèze (1982) ; pour la période révolutionnaire, à Woronoff (1989). La surface forestière française relevée par Cassini, avant la Révolution, aurait dû être plus élevée que celle mesurée lors des opérations du cadastre, au début du XIX^e siècle. Or, c'est le contraire qu'on observe. Ou bien il faut multiplier le taux de couvert forestier de Cassini par une valeur supérieure à 1,33 pour obtenir le couvert probable de l'époque, si le cadastre est juste, ou bien le cadastre surestime les forêts.

Nous avons cartographié à l'échelle départementale cette différence entre le taux de boisement de la carte de Cassini et celui indiqué par le cadastre napoléonien, réalisé en moyenne 65 ans plus tard (figure 21).

Cette carte montre que les zones que nous avons étudiées précédemment (Généralité de Paris, Intendance d'Alsace), tout comme l'en-

semble du nord de la France, présentent en moyenne des écarts nettement plus faibles que dans la moitié sud de la France où les différences entre la carte de Cassini et le cadastre napoléonien sont très importantes. La partie sud de la France n'a été cartographiée que tardivement par Cassini. Elle pourrait être la plus biaisée. Il se pourrait aussi que les définitions de la forêt pour Cassini et pour le cadastre soient différentes, le cadastre intégrant des zones boisées plus dégradées et plus ouvertes que Cassini. Comme ces zones dégradées étaient peut-être plus fréquentes dans le sud que dans le nord de la France, cette différence entre définitions de ce qui était ou n'était pas forestier pourrait expliquer en partie le contraste observé entre nord et sud de la France. Il faudrait le vérifier par des études complémentaires et plus précises, en comparant Cassini et le cadastre napoléonien avec des cartes des forêts levées dans le sud de la France aux mêmes époques.

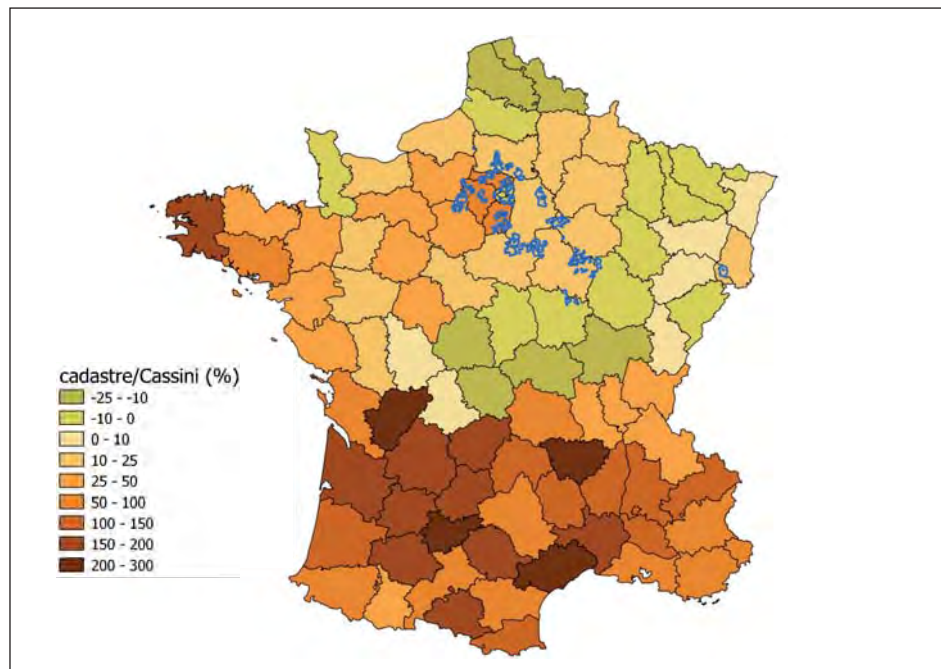


Figure 21. Ecart relatif entre le taux de boisement indiqué par le cadastre napoléonien (date moyenne 1830) et celui représenté sur la carte de Cassini, en % :

$$\frac{100 \times (\text{taux de boisement du cadastre} - \text{taux de boisement Cassini})}{\text{taux de boisement Cassini}}$$

Les valeurs négatives (tons verts) indiquent un taux de boisement plus fort sur la carte de Cassini que dans le cadastre, les valeurs positives (tons orange et brun) un taux de boisement plus fort sur le cadastre que sur Cassini. Une valeur de 100 % indique une surface boisée double dans le cadastre par rapport à celle de Cassini. Les zones délimitées en bleu sont les territoires où nous avons comparé la carte de Cassini à d'autres sources cartographiques (Généralité de Paris et Intendance d'Alsace, voir précédemment).

Les premiers calculs de la surface forestière de la France à partir de la carte de Cassini

Avant même la fin de sa réalisation, la carte de Cassini est utilisée par deux fois pour estimer la surface forestière de la France. En effet, aucune statistique précise et globale n'était à l'époque disponible et le document offrait pour la première fois la possibilité d'une estimation quantitative indépendante des seuls dires d'experts. Ces calculs donnent lieu à deux publications indépendantes, par Tellès d'Acosta (1791) puis par Arthur Young (1792). Ils obtiennent des résultats différents.

Dominique Antoine Tellès d'Acosta est « grand-maître enquêteur et général réformateur des Eaux-et-Forêts de France au département de Champagne, comté de Chigny et duché de Luxembourg ». Dès 1756, il fait partie des 50 souscripteurs privés qui vont reprendre et financer le projet de la carte de France, abandonné par l'état royal. Il est ainsi un observateur et un utilisateur « concerné », au moins financièrement, par la carte. En 1791, il publie la première estimation de la surface forestière française à partir de la carte de Cassini, de 12 millions d'arpents, soit 6,1 millions d'hectares. La surface du territoire prise en compte est celle du royaume hors Corse, donc directement comparable à nos estimations sur la base de l'ensemble de la carte de Cassini (après en avoir retiré les zones hors du royaume). Ainsi, Tellès d'Acosta sous-estimait de 0,5 millions d'hectares les surfaces forestières portées sur la carte de Cassini.

Arthur Young publie ses célèbres « Voyages en France » en 1792. En tant que voyageur, il a certainement utilisé la carte de Cassini au cours de ses trois périple dans le Royaume. Son calcul de la surface forestière de la France repose sur la mesure, sur un échantillon de 140 feuilles, de la proportion des bois : « En examinant les cartes, j'ai mesuré aussi exactement que possible la proportion de l'espace occupé par les bois dans chaque carte, et de nombreuses expériences faites sur 140 d'entre elles m'ont donné le résultat suivant... » (1792, p. 458). Il obtient un pourcentage de 14,7%, qu'il arrondit ensuite à 1/7. Utilisant une valeur de la surface du territoire du royaume (hors Corse) de 53,3 millions d'hectares, il en déduit une surface forestière de 7,6 millions d'hectares. Son estimation du pourcentage de couvert forestier représenté sur la carte de Cassini est bonne, mais légèrement surestimée en comparaison avec la valeur exacte que nous avons calculée (12,6%, voir précédemment). De même, la surface du territoire royal qu'il utilise est un peu trop élevée. C'est celle proposée par Necker (1784, p. 221). Il obtient un million d'hectares de plus de bois que ce qui est réellement représenté sur la carte de Cassini dans le royaume de France (hors Corse).

Il est intéressant de noter que, depuis ces deux publications et jusqu'à notre travail, aucune autre étude chiffrée de la surface forestière telle que représentée par Cassini n'avait été faite.



© D. Villaret

QUE SONT DEVENUES LES FORÊTS DE CASSINI ?

En un coup d'œil

Le tableau 5 résume les chiffres globaux de la comparaison des forêts de Cassini aux forêts actuelles. Le tableau 4 et l'annexe 6 présentent les résultats statistiques aux échelles nationale, régionale et départementale. Les annexes 7 et 8 présentent les résultats approfondis respectivement pour les départements du Var et des Pyrénées-Orientales.

Le taux de boisement estimé par la carte de Cassini est de moins de 13%. Il est de 29% aujourd'hui. L'énorme progression de la surface des forêts (progression de 16% en valeur absolue du taux de couvert forestier) est, pour partie, due à la sous-estimation des surfaces forestières par Cassini. Mais ce biais reste modéré par rapport à la progression réelle des forêts. Si l'on considère que Cassini sous-évaluait le couvert forestier national de 4% en valeur absolue (en se référant au taux de boisement obtenu à la suite des opérations du cadastre), la progression est encore de 12%. La part la plus importante de l'augmentation que

nous constatons est donc bien à mettre en relation avec un retour réel de la forêt, principalement à partir de la fin du XIX^e siècle, suite à la déprise agricole et au reboisement subséquent.

Les noyaux forestiers anciens aujourd'hui

Parmi les forêts actuelles, seules 29% sont boisées sur la carte de Cassini. Ce sont des noyaux forestiers anciens relativement sûrs (figure 22). En théorie, certains de ces noyaux ont pu être défrichés, cultivés ou pâturés puis abandonnés et recolonisés par la forêt dans l'intervalle séparant les deux cartes. Toutefois, nous n'en avons pas d'exemple attesté sur de grandes surfaces. Les pratiques d'essartage pour mise en culture ont, localement, perduré jusqu'au XIX^e siècle dans quelques régions de France (Ardennes, Corse, Dauphiné, cf. Blache, 1923). Seule des études plus systématiques de l'histoire de ces noyaux forestiers anciens, à partir de cartes de dates antérieures et postérieures à Cassini, des archives disponibles et de descriptions de ter-

Tableau 5. Comparaison des surfaces forêt/non forêt entre Cassini et CLC 2006. Le premier chiffre indique la surface dans chaque catégorie, en km², le chiffre entre parenthèses la donne en pourcentage de la surface totale étudiée (arrondi). Les calculs sont faits dans l'ensemble de l'intersection de ces deux cartes, donc au-delà de la frontière française actuelle.

		Carte de Cassini (XVIII ^e siècle)		
		Forêt	Non boisé	Total
CLC 2006	Forêt	Noyaux forestiers anciens 45 062 (8%)	Autres boisements actuels 112 056 (21%)	Forêts actuelles 157 118 (29%)
	Non boisé	Terrains déboisés à ce jour 25 718 (5%)	Non boisés stables 360 833 (66%)	Non boisés actuels 386 551 (71%)
	Total	Forêts de Cassini 70 780 (13%)	Non boisés de Cassini 472 890 (87%)	543 670 (100%)

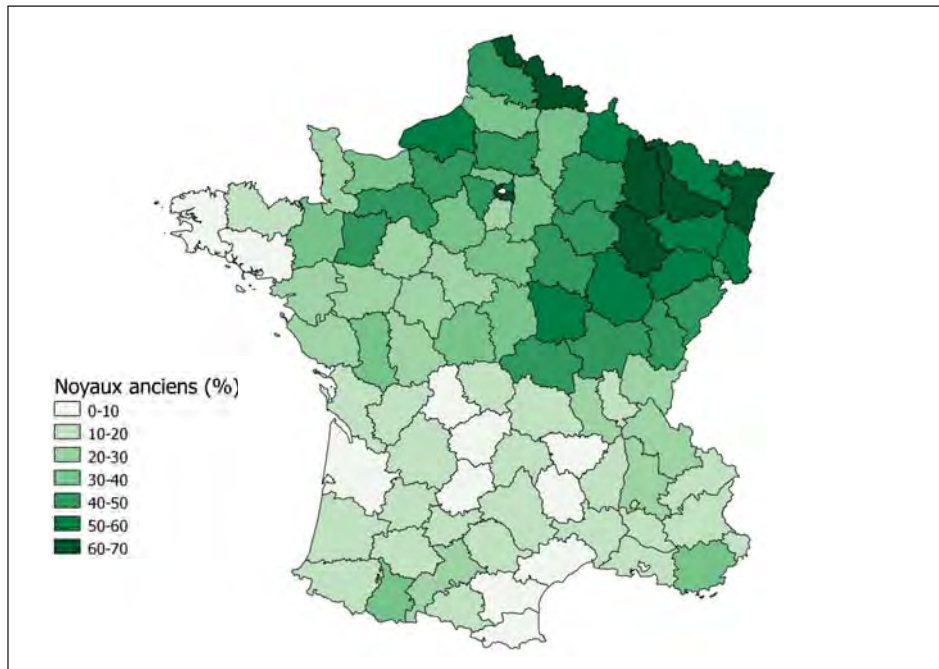


Figure 22. Distribution départementale de la proportion de noyaux forestiers anciens, en % des forêts actuelles.

rain, permettront de mieux garantir la continuité de l'état boisé de ces noyaux forestiers anciens.

Les grandes forêts royales et du clergé, pour une grande part devenues domaniales après la Révolution, constituent souvent la base de ces noyaux forestiers anciens. Une analyse systématique du statut actuel de la propriété (domaniale, communale ou privée) et des déterminants environnementaux (géologie, topologie...) de la présence de ces noyaux forestiers anciens mériterait d'être conduite à l'échelle nationale, à l'instar de ce qui a été fait à l'échelle de quelques départements (annexe 6 et 7).

Compte-tenu de la sous-représentation des petits bois sur la carte de Cassini (notamment ceux de surface inférieure à 5 ha) et de la non représentation de boisements importants dans les zones de fort relief, il existe certainement d'autres forêts anciennes que celles repérées ici.

Les terrains déboisés depuis Cassini

36% des territoires forestiers de Cassini ne se retrouvent pas forestiers aujourd'hui (figure 23). Nous identifions ci-après les plus grands d'entre eux par région. Lorsqu'ils se trouvent aujourd'hui en terroir agricole, ils ont été souvent déboisés avant la date du minimum forestier du XIX^e siècle. Mais lorsqu'ils se trouvent en zone aujourd'hui urbaine ou péri-urbaine, les déboisements peuvent être intervenus à toute date, et plus particulièrement depuis le milieu du XX^e siècle, période d'intense artificialisation du territoire. L'informatisation de la carte permet de rechercher automatiquement et donc systématiquement les massifs « fantômes », continus et de grande taille dans Cassini mais aujourd'hui disparus. Par exemple, le massif de Sagonne dans le Cher, qui, partant d'une surface totale de plus de 9000 ha sur la carte de Cassini, a perdu 88% de sa surface depuis, réduit à quelques boisements lâches dans un paysage agricole.

La documentation, à partir des archives, de l'historique de leur déboisement serait utile pour en comprendre plus finement :

- la logique et les causes principales ;
- la temporalité (quelle période ? quel contexte

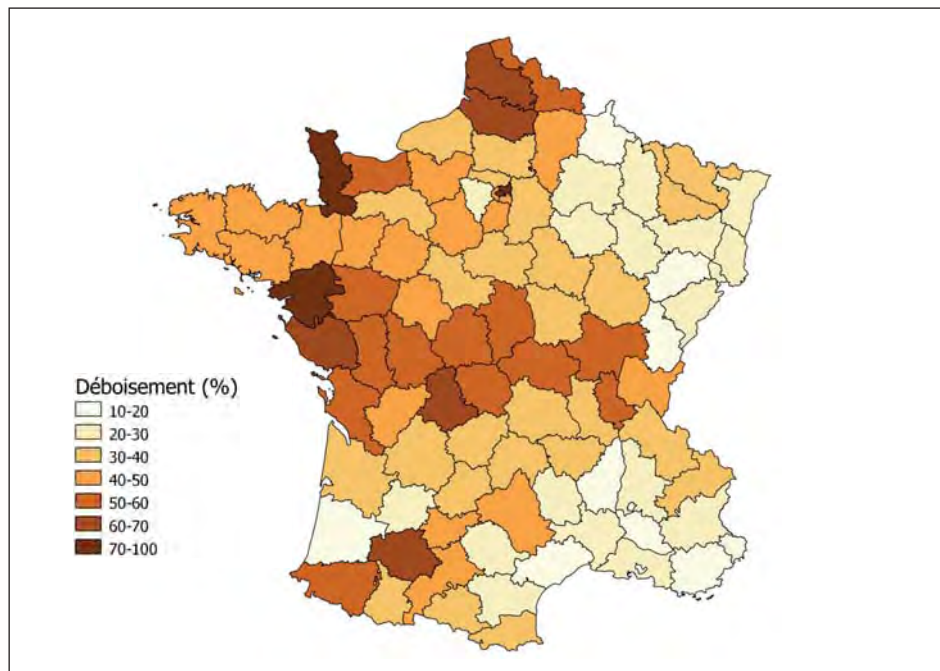


Figure 23. Distribution départementale de la proportion de terrains forestiers présents sur Cassini mais déboisés à ce jour, en % des forêts de Cassini.

historique ?). Elle permettrait notamment d'apporter des éclairages nouveaux au débat sur l'ampleur des déboisements de la fin du XVIII^e et du début du XIX^e.

La progression des forêts par rapport à Cassini

La dynamique de recolonisation des forêts, depuis le minimum forestier du XIX^e siècle, est un fait majeur de l'histoire forestière française et européenne. La comparaison de la couverture boisée sur la carte de Cassini à la couverture boisée actuelle la révèle pour partie (figure 24). Toutefois, on ne peut garantir que toutes les forêts actuelles qui sont absentes de la carte de Cassini soient réellement des forêts récentes, apparues sur des terrains agricoles ou pastoraux depuis le XVIII^e siècle. En effet, n'oublions pas que beaucoup de bois, notamment de moins de 5 ha, n'ont pas été dessinés. Une part des « terrains boisés à ce jour » ne sont sans doute pas des forêts récentes.

Tour d'horizon par région

Nous présentons ci-après quelques commentaires, classés par région administrative, sur la comparaison entre Cassini et la période actuelle. En aucun cas ils ne sont exhaustifs, mais cherchent plutôt à illustrer l'intérêt du croisement entre carte des forêts de Cassini et carte actuelle. La carte générale de ces changements en France est présentée à la figure 24. Les cartes régionales sont présentées en annexe 5. Les données statistiques par régions et départements sont dans le tableau 4 et/ou en annexe 6.

Alsace

Sur la carte de Cassini, le taux de boisement de la région est important (31%), notamment à l'ouest. Partiel à l'époque au niveau des Ballons, le boisement s'est étoffé depuis en altitude. Dans le nord de la région, le boisement est resté continu du Donon au Vosges du nord depuis cette période. Les vallées se sont toutes refermées. Au nord-est le massif forestier de Haguenau et au sud-est celui de la Hardt sont bien représentés dans leurs limites actuelles globales. La plaine d'Alsace concentre la majorité des déboisements.

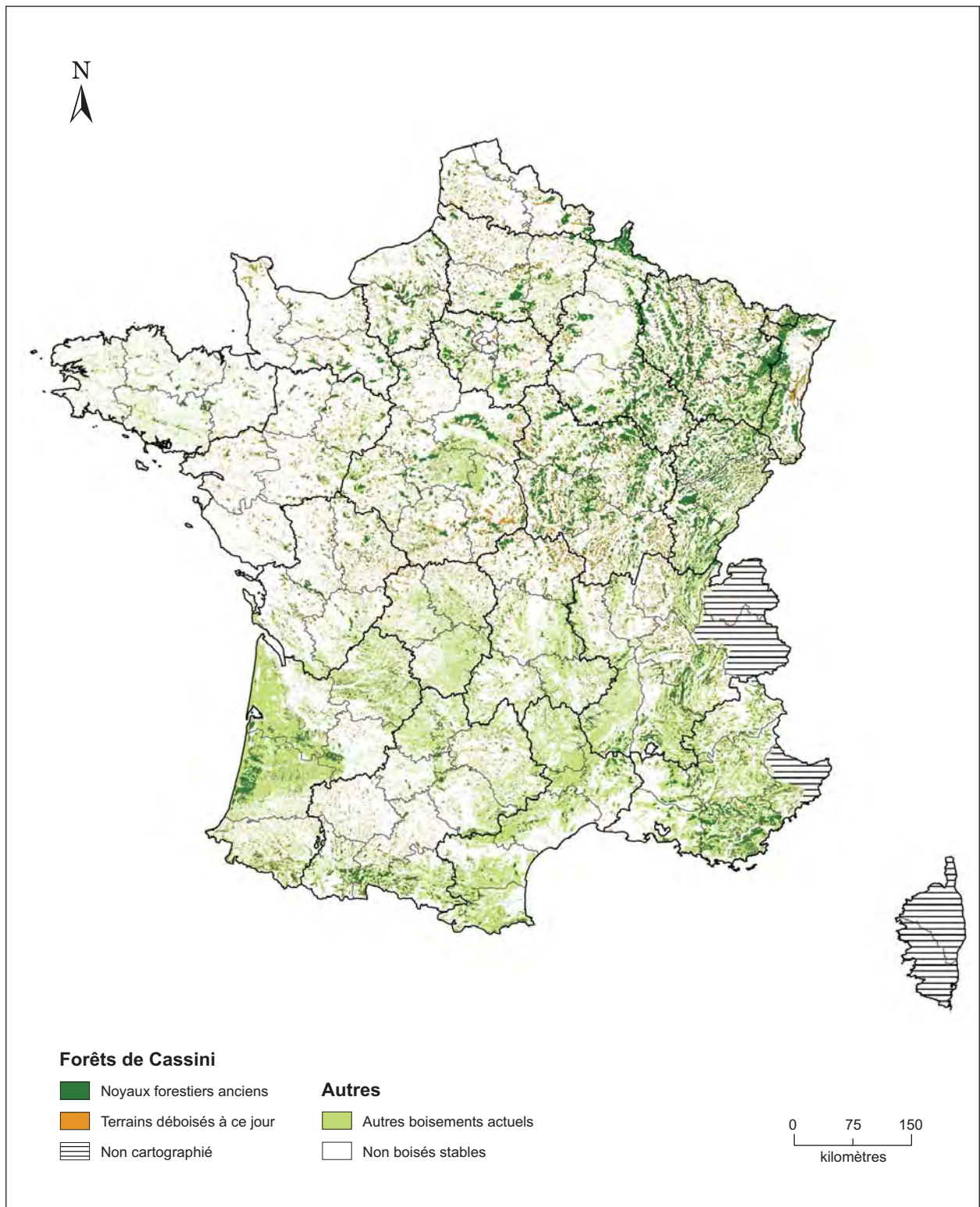


Figure 24. Carte de l'évolution des forêts entre Cassini et l'actuel (CLC 2006) (© WWF/INRA).

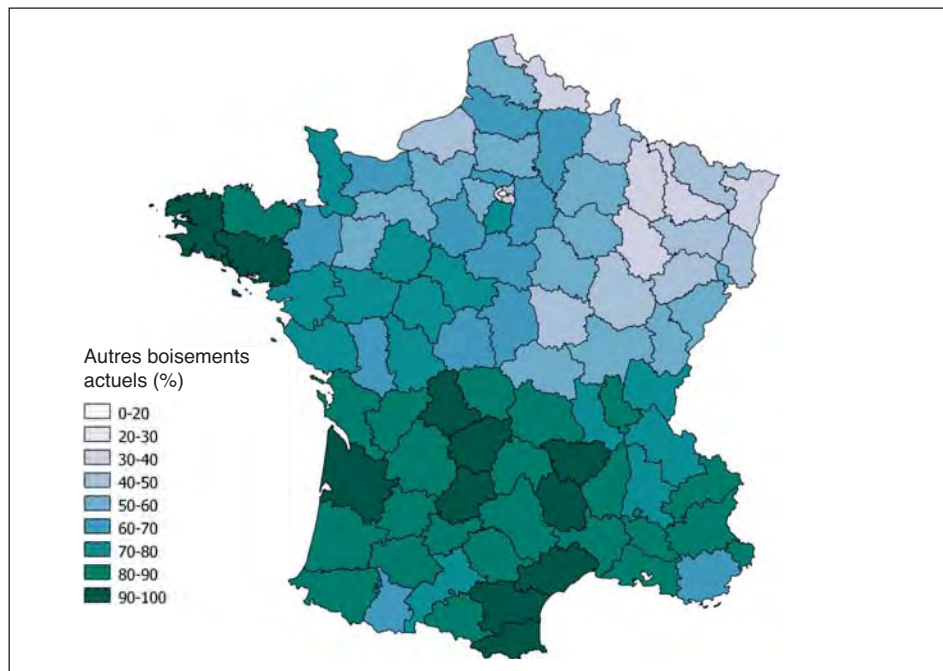


Figure 25. Distribution départementale de la proportion des boisements actuels qui n'étaient pas présents sur la carte de Cassini, en % des forêts actuelles. Cette carte est l'exact complément à 100% de la figure 22.

Aquitaine

Le massif landais tel qu'on le connaît actuellement est en grande partie issue d'une politique de reboisement avec le pin maritime datant du XIX^e siècle. Cela se traduit dans la comparaison entre Cassini et l'actuel : seulement 9% de forêts sur Cassini, contre 44% aujourd'hui dans toute la région Aquitaine. Bien avant le XVIII^e siècle, la mosaïque naturelle des forêts, dunes et zones humides fut transformée et pâturée. Au XVIII^e siècle, la carte de Cassini montre que quelques boisements de taille importante subsistent (figure 26), notamment en arrière des dunes littorales au sud du bassin d'Arcachon (forêt usagère de la Teste, pays de Born, Marensin). A la pointe Est de l'actuel « triangle forestier landais », un grand noyau forestier ancien se situe entre Casteljaloux et Houillez. Dans les Pyrénées-Atlantiques, les noyaux forestiers anciens sont localisés en vallées d'Ossau et d'Aspe, mais également dans la forêt des Arbailles ou celle d'Hayra dans la vallée des Aldudes.

Dans le Périgord, la majorité des boisements sont récents. Les noyaux forestiers anciens sont de taille inférieure à 2500 ha et disséminés.

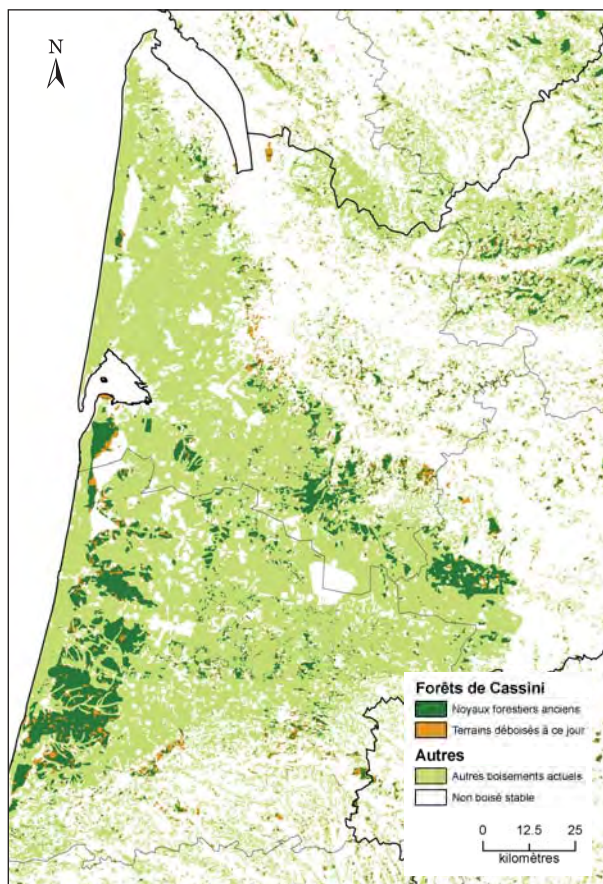


Figure 26. Evolution de la couverture boisée en Aquitaine, à partir de la comparaison entre la carte de Cassini et CLC (2006).

Auvergne

En Auvergne, la dynamique forestière semble opposer le nord (au nord de Clermont-Ferrand) et le sud. Le nord se caractérise par la présence de nombreux grands noyaux forestiers anciens (comme par exemple le massif forestier de Tronçais, la forêt domaniale des Colettes à l'ouest de Vichy, l'arc forestier privé à l'est de Moulins, les Bois noirs et la forêt domaniale de l'Assise à l'est de Thiers) avec de grandes surfaces déboisées depuis Cassini, particulièrement le long de la Loire.

Au sud, une forte dynamique de recolonisation marque les zones de basse montagne. Toutefois, on trouve quelques grands noyaux forestiers anciens, comme le bois de la Pinatelle, la forêt du Mont-Dore et de La Bourboule, les forêts domaniales de Maubert et d'Algère...

Basse-Normandie

Malgré un faible taux de boisement sur la carte de Cassini (7%), de grands noyaux forestiers anciens persistent, notamment au sud-est de la région : forêts domaniales de Bellême, de Renovaldiou, d'Ecouvès, des Andaines, de Saint Evroult, du Perche... ou privées comme les forêts de Grande et Petite Gouffern ou de Saint Evroult. La presqu'île du Cotentin concentre de grands massifs aujourd'hui déboisés, qui formaient l'ancienne forêt de Brix dont l'histoire du déboisement a été étudiée (La Haye, 1957).

Bourgogne

Très boisée sur la carte de Cassini comme aujourd'hui (26% contre 31% respectivement), la région compte une trame de noyaux forestiers anciens assez continue, comptant pour plus de la moitié des forêts actuelles. Parmi les très grands noyaux forestiers anciens, nous citerons les massifs de Châtillon (forêts domaniales de Châtillon, de Lugny et de la Chaume), le Nivernais (forêts domaniales des Bertranges, de Bel-lary et divers bois privés) et le massif de la forêt domaniale d'Othe, entre Sens et Auxerre.

Le Morvan comporte une part significative de forêts récentes, du fait de larges reboisements dans la seconde moitié du XX^e siècle. La zone autour de Louhans et celle entre Montceau-les-Mines et Gueugnon ont été à l'inverse significativement déboisées depuis la carte de Cassini. A l'est, de même, la Bresse bourguignonne a été particulièrement déboisée.

Bretagne

Le taux de boisement sur la carte de Cassini est faible (3%). Il a significativement augmenté aujourd'hui (12%) bien qu'il soit toujours inférieur à la moyenne nationale. Peu de déboisements apparaissent. Quelques grands noyaux forestiers anciens sont à signaler : forêts domaniales de Rennes, de Paimpont (Brocéliande), de Lanouée ou de Fougères par exemple.

Centre

La région Centre est boisée à hauteur de 13% sur la carte de Cassini et de 22% aujourd'hui. Cette tendance résulte de phénomènes contradictoires selon les départements.

De grands noyaux forestiers anciens structurent la couverture forestière, notamment les forêts domaniales d'Orléans, Montargis, Dreux, Breteuil, Conches, Senonches, Boulogne (Chambord), Chinon, Vierzon...

Une immense zone a été fortement reboisée depuis la carte de Cassini, la Sologne, constituant un très grand massif de forêts principalement récentes (figure 27).

Au Sud-Est de Bourges, les zones déboisées depuis Cassini apparaissent plus grandes et plus fréquentes.

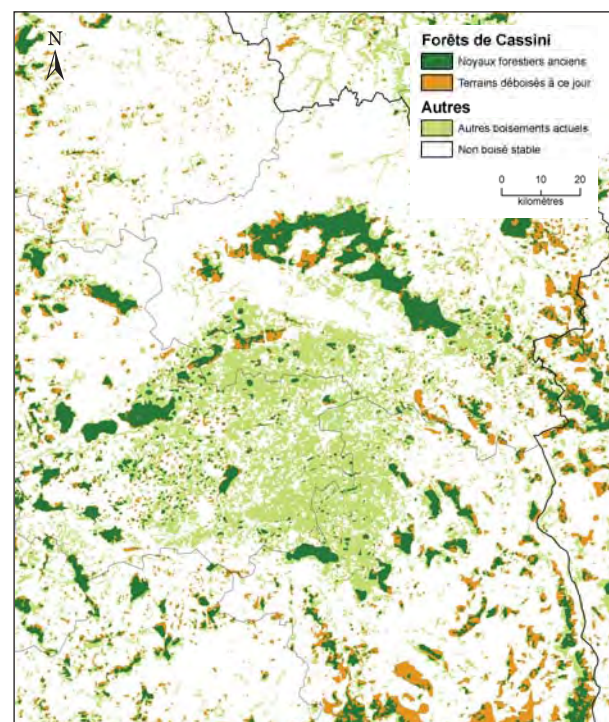


Figure 27. Evolution de la couverture boisée autour d'Orléans, à partir de la comparaison entre la carte de Cassini et CLC (2006).

Champagne-Ardenne

La région Champagne-Ardenne est hétérogène du point de vue de son évolution forestière. Très boisée dans les Ardennes, les forêts sont également anciennes. Il en est de même en Haute-Marne (forêt domaniale d'Arc-en-Barrois et forêts privées), sur les plateaux calcaires. Des noyaux forestiers anciens apparaissent également près de Troyes (forêt d'Orient) ainsi qu'au sud et au nord d'Épernay par exemple.

La Champagne crayeuse, au centre de la région, est une vaste zone agricole ancienne, stable dans son état non boisé depuis Cassini. Seuls deux très grands boisements récents y sont apparus depuis Cassini, situés dans les camps militaires de Mailly au sud et de Suippes au nord.

Corse

La région Corse n'a pas été cartographiée par Cassini.

Franche-Comté

La région Franche-Comté est une région très boisée sur la carte de Cassini (27%) comme aujourd'hui (45%).

Les noyaux forestiers anciens y sont nombreux (3 500 km², soit près de la moitié de la surface forestière actuelle) et répartis de façon très régulière. Le plus grand noyau forestier ancien est sans surprise le massif de Chaux (près de 200 km² d'un seul tenant).

Le rebord sud des Vosges et le sud du Jura sont les deux zones où le couvert forestier a le plus progressé. Dans les Mille-Etangs haut-saônois au nord, comme dans la Petite Montagne jurassienne au sud, l'agriculture de moyenne montagne a connu un fort abandon. C'est tout naturellement dans cette dernière région qu'une des premières études des liens entre ancienneté et biodiversité forestière a été menée (Sciama *et al.*, 2009).

Haute-Normandie (figure 28)

Le taux de boisement de la Haute-Normandie est dans la moyenne nationale sur la carte de Cassini (14%). Il est de 18% aujourd'hui. Les noyaux forestiers anciens sont notamment les forêts domaniales de Brotonne, Roumare, Bord-Louviers (passablement fragmentées ou grignotées tout de même par les infrastructures et l'urbanisation aujourd'hui), de Eawy et d'Eu, les forêts

des Andelys et de Vernon ou de Beaumont, Breteuil et Conches (entre Bernay et Breteuil). La région n'a connu ni grands déboisements, ni grands reboisements.

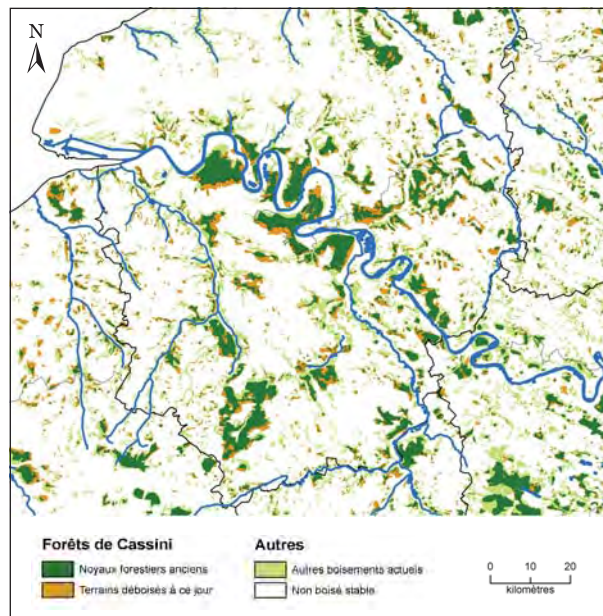


Figure 28. Evolution de la couverture boisée le long de la Seine, à partir de la comparaison entre la carte de Cassini et CLC (2006).

Ile-de-France

En région Ile-de-France, le taux de boisement était dans la moyenne nationale sur la carte de Cassini (12,5%). Il est de 24% sur la carte actuelle. Il y a moins de 1000 km² de noyaux forestiers anciens. C'est la fameuse ceinture « verte » de Paris : forêts domaniales de Sénart, Crécy, Armainvilliers, Fontainebleau, Rambouillet, Saint-Germain, Ermenonville, Chantilly ou la forêt régionale de Ferrières.

Certains massifs forestiers de Cassini sont aujourd'hui des parcs périurbains et ne sont plus considérés par Corine Land Cover comme des forêts. Ils apparaissent ainsi comme déboisés à ce jour dans notre comparaison (Boulogne, Vincennes, Montmorency).

Il existe toutefois de grands terrains qui ont été totalement déboisés depuis Cassini, comme par exemple la grande forêt de Bondy, une autre à l'ouest d'Étampes, ou celle qui était située entre Fleury-Mérogis et Sainte-Geneviève-des-Bois dont il ne reste rien ou bien peu de chose. C'est bien sûr l'urbanisation qui les a fait disparaître au XX^e siècle.

Languedoc-Roussillon

Le taux de boisement de la région est de 5,5% sur la carte de Cassini, contre 46% aujourd'hui. Les noyaux forestiers anciens sont peu nombreux. Parmi les plus grands, nous pouvons citer :

- les forêts de Mercoire, Bougès et de l'Aigoual dans les Cévennes ;
- la forêt de la Valbonne dans le Gard ;
- la forêt domaniale de Fondfroide (et alentours à l'ouest de Narbonne) ;
- les massifs de Rialsesse ou des Albères (où se situe la réserve naturelle de la forêt de la Masane).

La majorité des forêts d'aujourd'hui (plus de 90%) ne sont pas présentes sur la carte de Cassini.

Enfin, quelques grandes forêts ont été déboisées depuis Cassini. C'est le cas, par exemple :

- de plusieurs grands bois au sud de Nîmes. Cointat (1954) nous rappelle que l'un d'eux, la forêt domaniale de Campagne, fut vendue en deux lots en 1833 et 1853. Leur déboisement est probablement consécutif à la vente ;
- les forêts des bords de rivière du Têt et Tech dans les Pyrénées-Orientales (voir annexe 4 pour une carte redressée à l'échelle départementale de l'ensemble du département).

Limousin

La région Limousin est l'une des régions de France où la comparaison est la plus spectaculaire (figure 29). Le taux de boisement est de moins de 6% sur la carte de Cassini, contre plus de 35% aujourd'hui. Seulement 2,5% du territoire est composé de noyaux forestiers anciens, comme le massif de Chabrières au sud de Guéret (privé, domanial et communal), la forêt de Chateaufort au nord d'Ussel ou celles de Chateaufort-la-Forêt, de Fayat et de Meuzac dans le département de la Vienne. Une grande partie des autres forêts sont des reboisements résineux récents, installés après la seconde guerre mondiale sur des terres agricoles et pastorales (politique du Fonds forestier national).

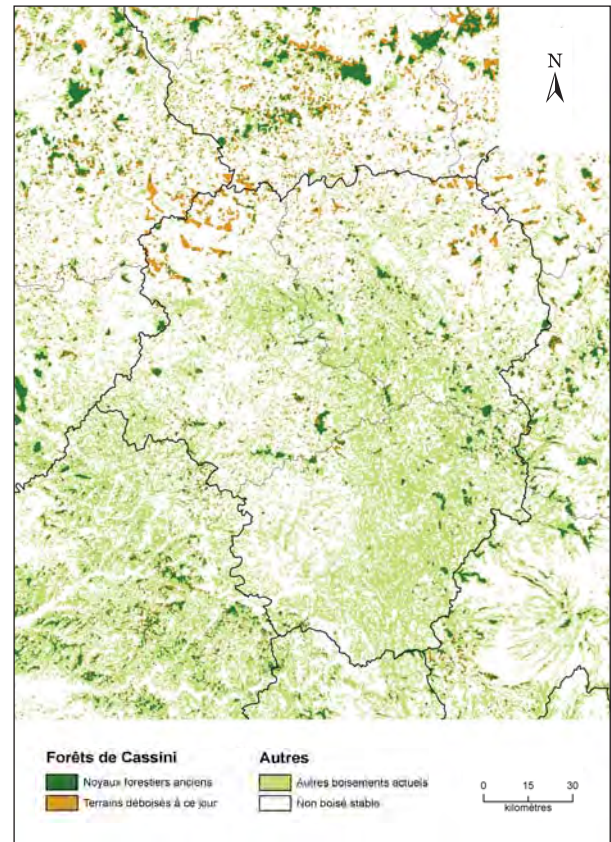


Figure 29. Evolution de la couverture boisée dans le Limousin, à partir de la comparaison entre la carte de Cassini et CLC (2006).

Lorraine

En Lorraine, le taux de boisement sur la carte de Cassini est très au-delà de la moyenne nationale (31%). Il n'est pas beaucoup plus élevé sur la carte actuelle (38%). 22% du territoire sont des noyaux forestiers anciens, soit 59% des forêts actuelles. Aux deux dates étudiées, le boisement est régulier et continu. Le plus grand massif boisé de la région est celui du Donon, au nord de Saint-Dié. Dense et compact, sa continuité spatiale a été totalement rétablie par les boisements récents.

A l'opposé des Vosges du Nord où le boisement apparaît ancien, le sud du massif a connu un reboisement intense depuis le XVIII^e siècle. La forêt domaniale de Verdun est l'une des rares régions de plaine qui n'était pas boisée sur Cassini et l'est aujourd'hui.

De grands massifs ont été déboisés, partiellement ou totalement, dans le nord du Plateau lorrain. Ainsi, la forêt d'Hémilly, aujourd'hui pour partie en réserve intégrale, est le témoin d'un massif qui était plus vaste au XVIII^e siècle.

Midi-Pyrénées

Le taux de boisement de la région Midi-Pyrénées sur la carte de Cassini est 7%, et de 28% aujourd'hui. Plus de 2 000 km² sont des massifs forestiers anciens. Parmi ceux-ci, nous pouvons notamment citer des massifs isolés, comme :

- les forêts domaniales de Bouconne, à l'ouest de Toulouse, ou de Grésigne, à l'est de Montauban. L'histoire de la première a été étudiée par Henry (1943). La seconde est un lieu reconnu pour sa biodiversité remarquable, notamment entomologique, peut-être en partie liée à l'ancienneté de l'état boisé, mais aussi à l'histoire sylvicole particulière de cette forêt ;
- un ensemble de bois à l'est de Cahors et la forêt des Palanges à l'est de Rodez ;
- par ailleurs la majorité des grands massifs anciens sont situés dans la chaîne pyrénéenne (figure 30), entre Bagnères-de-Bigorre, à l'ouest, et le col de Pégère (à l'ouest de Foix), avec une lacune en Ariège, en partie liée à des « oublis » des ingénieurs de Cassini, fréquents en zone de montagne.

Les coteaux du centre de la région sont faiblement boisés sur la carte de Cassini, même si les petits bois, qui jouent un rôle important aujourd'hui (Deconchat, 1999), peuvent avoir été omis. Le Gers est, avec le Finistère, un département cumulant à la fois un taux de boisement actuel très bas et un taux de noyaux forestiers anciens, parmi ces forêts actuelles, lui aussi très bas.

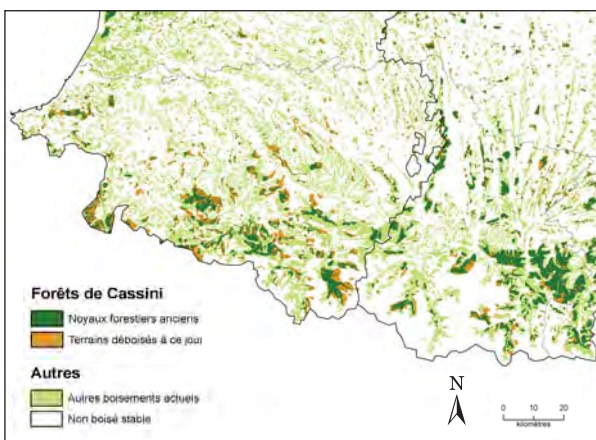


Figure 30. Evolution de la couverture boisée dans les Pyrénées, à partir de la comparaison entre la carte de Cassini et CLC (2006).

Nord-Pas-de-Calais

La région Nord-Pas-de-Calais est la seule région qui a vu son taux de boisement diminuer entre la carte de Cassini (environ 10%) et la carte actuelle (7%). Quelques grands noyaux forestiers anciens existent toutefois comme les forêts domaniales de Raismes-Saint-Amand-Wallers et de Mormal, ainsi que la forêt de Trélon.

Les terrains déboisés depuis Cassini sont importants (plus de 60% des forêts représentées), et sont disséminés dans toute la région. Une seule grande forêt nouvelle est apparue, le long du littoral de la Manche au sud de Boulogne-sur-Mer (Dubois, 1989). Recouvrant d'anciennes dunes, elle est le résultat de plantations résineuses et de recolonisation naturelle.

Pays de la Loire

La région Pays de la Loire est peu boisée sur la carte de Cassini (6%) comme aujourd'hui (moins de 9%). Les noyaux forestiers anciens sont notamment :

- dans le nord de la région, forêts de Pail et de Mayenne, domaniales de Perseigne et de Sillé ;
- au sud du Mans, forêt domaniale de Bercé, alors que bien des forêts d'aujourd'hui autour du Mans sont absentes de la carte de Cassini ;
- à l'ouest de Saumur, forêt de Milly, même si elle semble avoir été fragmentée avec le temps ;
- et forêt domaniale de Mervent-Vouvan près de Fontenay-le-Comte.

Picardie

Sur la carte de Cassini, le taux de boisement de la Picardie est dans la moyenne nationale (13%). Il est relativement bas aujourd'hui, de moins de 17%.

Les noyaux forestiers anciens sont le plus souvent en forêt domaniale : Halatte, Chantilly, Compiègne, Hez et Thelle dans l'Oise ; Crécy dans la Somme ; Retz, Saint-Gobain et les forêts de Thiérache (La Haye d'Aubenton, Saint-Michel, Val-Saint-Pierre, Andigny, Marfontaine) ; les forêts privées du Nouvion, du Regnaval et d'Hirson en Thiérache sont des exceptions notables.

On note la disparition de nombreux petits boisements épars et (à quelques lambeaux près) de la forêt de la Bouvresse à l'est de Beauvais. L'actuelle forêt domaniale du Parc-Saint-Quentin en est la dernière relique, issue de la "fusion" récente de deux fragments de forêt

ancienne : forêt du Parc et bois de Saint-Quentin, par suite de la recolonisation forestière d'anciens parcours pastoraux qui les séparaient. Actuellement c'est donc un ensemble hétérogène avec des parties anciennes et des parties récentes (Decocq, communication personnelle).

De l'antique forêt d'Arrouaise, entre Wassigny et Oisy, il ne reste déjà plus que quelques centaines d'hectares sur la carte de Cassini ; ils ont été totalement défrichés depuis.

La carte de Cassini permet aussi de repérer plusieurs anciennes « haies », forêts linéaires à vocation de défense et de bornage du territoire, défrichées depuis le XVIII^e siècle (Dubois, 1989).

Poitou-Charentes

La région Poitou-Charentes est deux fois moins boisée que la moyenne nationale sur la carte de Cassini (7%), comme aujourd'hui (près de 15%). Quelques grands bois ont été déboisés depuis le XVIII^e siècle, comme par exemple près de Parthenay et Montmorillon. Les grands noyaux forestiers anciens comptent notamment les forêts domaniales de Moulière près de Poitiers, de Chizé, Aulnay et Chef-Boutonne entre Niort et Angoulême, de la Braconne à l'est d'Angoulême et des forêts privées proches.

Provence-Alpes-Côte d'Azur

La couverture de la région est amputée du Comté de Nice, non inclus dans le territoire français à l'époque de Cassini. Sur le territoire restant, le taux de boisement est de 13% sur la carte de Cassini et de 46% aujourd'hui. Dans les Alpes-de-Haute-Provence, il est passé de 10% à 50%, ce qui confirme les travaux des historiens (Sclaffert, 1933, 1934), des géographes (Douguedroit, 1976, Ponchelet, 1995) et des écologues (Vallauri, 1997).

Plus de 3 000 km² sont des noyaux forestiers anciens, les grands noyaux se situant notamment dans le Var (Maures, Haut-Var ; figure 31) et les massifs du Luberon, du Ventoux et de Lure.

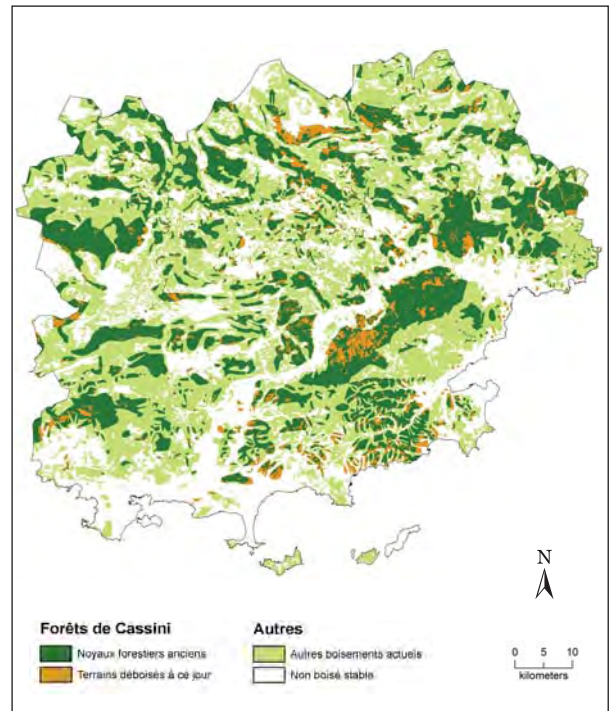


Figure 31. Evolution de la couverture boisée dans le Var, à partir de la comparaison entre la carte de Cassini et CLC (2006), après un redressement spécifique de la couche des forêts de Cassini à l'échelle départementale.

Rhône-Alpes

La couverture de la région est réduite du Comté de Savoie, non inclus dans le royaume de France à l'époque de Cassini. Le restant est forestier à 13% sur la carte de Cassini, et à 39% aujourd'hui. Le département de l'Ardèche présente la plus forte augmentation (de moins de 8% à plus de 55%), suivi de la Drôme (de moins de 14% à plus 50%).

Les grands noyaux forestiers anciens sont principalement dans les Préalpes (Baronnies, Vercors), le sud du Jura, au sud-est de l'Ardèche et sur les rebords du Massif Central (Monts du Forez et de la Madeleine).

Quelques grandes zones ont été déboisées depuis Cassini. C'est, par exemple, le cas de l'emplacement actuel de l'aéroport de Lyon Saint-Exupéry (déboisement sans relation avec son installation), d'un grand bois au nord de Roanne, d'un autre à l'Est de Montélimar, ainsi que de multiples petits bois dans la Dombes.

L'absence de couverture des Savoie ne permet pas d'apporter une vue nouvelle sur le débat autour du déboisement des grandes Alpes (Lenoble, 1923, Fourchy, 1944).

RELATION ENTRE PRÉSENCE DE NOYAUX FORESTIERS ANCIENS ET CARACTÉRISTIQUES DES PEUPELEMENTS FORESTIERS

Nous avons testé ici le lien entre l'ancienneté de l'état boisé, appréciée à partir du croisement entre la carte de Cassini et la carte actuelle, et certaines caractéristiques des peuplements forestiers. Nous n'avons abordé que des caractéristiques qui nous semblaient pertinentes et qui nous étaient assez facilement accessibles. Ce premier travail a donc plus valeur d'exemple que d'analyse approfondie des caractéristiques des noyaux forestiers anciens.

Lien entre présence de noyaux forestiers anciens et zones d'intérêt écologique et faunistique

La notion de forêt ou espace à haute valeur pour la biodiversité est devenue un outil important de la politique de conservation et de gestion durable dans le monde (voir

<http://www.hcvf.org/about-hcvf>). En France, une notion s'en rapproche, c'est celle de zone d'intérêt écologique floristique et faunistique (ZNIEFF), créée en 1982 et renouvelée depuis ; elle est fondée sur la présence d'espèces ou habitats déterminants. Le service du patrimoine naturel (SPN) du MHNH tient à jour pour la France cet inventaire qui n'a pas valeur de protection légale.

Si l'on croise l'information ZNIEFF avec la carte des noyaux forestiers anciens, certaines grandes lignes ressortent :

- **à l'échelle nationale** (tableau 6), la proportion de noyaux forestiers anciens au sein des forêts en ZNIEFF est de 34%. Cette proportion est significativement plus élevée que celle observée dans les forêts hors ZNIEFF (24%, risque relatif de 1,4). Cette différence se retrouve aussi bien dans les ZNIEFF de type 1 que de type 2 ;

Tableau 6. Association entre statut patrimonial et présence de noyaux forestiers anciens à l'échelle de l'ensemble de la France. Le « risque relatif » est le rapport entre la proportion de noyaux forestiers anciens observée dans les forêts d'une catégorie patrimoniale donnée et celle observée dans les forêts situées hors de cette catégorie patrimoniale. Plus il s'écarte de 1, plus l'association entre noyaux forestiers anciens et statut patrimonial est forte.

Statut patrimonial		Noyaux forestiers anciens dans la catégorie (en % des forêts de la catégorie)	Noyaux forestiers anciens hors de la catégorie (en % des forêts hors de la catégorie)	« risque relatif »
Statut de protection	UICN I	55,4	27,9	1,99
	UICN II	11,1	28,0	0,39
	UICN IV	43,5	27,8	1,56
	UICN V	23,4	29,2	0,80
	Natura 2000	30,1	27,4	1,10
Inventaire	ZNIEFF 1	33,4	27,0	1,23
	ZNIEFF 2	34,0	24,7	1,37
	ZNIEFF 1+2	33,7	24,0	1,40

- **dans le Var** (annexe 6), le taux de noyaux forestiers anciens dans les forêts appartenant à une ZNIEFF est aussi plus élevé que hors des zones ZNIEFF, mais la différence est plus faible que précédemment (risque relatif de 1,20) ;

- **dans les Pyrénées-Orientales** (annexe 7), le taux de noyaux forestiers anciens est faible (9% des forêts du département). Mais ce taux est de 12% parmi les forêts en ZNIEFF, et de 3% seulement dans les forêts hors ZNIEFF, quatre fois moins.

On peut conclure de cette analyse préliminaire succincte que l'outil ZNIEFF intègre bien en partie l'ancienneté de l'état boisé comme un élément du classement. Les éléments de biodiversité associés à l'ancienneté de l'état boisé amènent probablement à un classement préférentiel des noyaux forestiers anciens en ZNIEFF. Il apparaît cependant des différences régionales importantes dans ce lien entre ZNIEFF et noyaux forestiers anciens. Il serait intéressant d'en étudier les causes, en étendant notre étude à d'autres régions et en analysant régionalement les critères de définition des ZNIEFF. La méthode mise en œuvre pour définir une ZNIEFF, le choix des espèces déterminantes, sont des questions traitées de façon non encore homogène sur le territoire national.

Lien entre présence de noyaux forestiers anciens et statut de protection

Le réseau de protection des forêts comprend divers statuts plus ou moins efficaces. Ces statuts (une vingtaine au total en France) sont regroupés pour simplification en 5 catégories internationalement reconnues (dites catégories UICN I à V). Pour plus de détail, voir Vallauri (2003).

Si l'on croise les statuts de protection avec la carte des noyaux forestiers anciens, on observe que :

- **à l'échelle nationale** (tableau 6), les noyaux forestiers anciens sont nettement plus fréquents parmi les réserves intégrales (catégorie UICN I) et les réserves naturelles et biologiques (catégorie UICN IV) qu'en dehors de ces sta-

tuts. Respectivement 55% et 43% de la surface des forêts en réserve intégrale et en réserve naturelle ou biologique sont constitués de noyaux forestiers anciens, ce qui est nettement supérieur aux taux observés hors de ces statuts (28%). A l'inverse, les zones de cœur des parcs nationaux (catégorie UICN II) recèlent moins de noyaux forestiers anciens (11%) qu'en dehors de ces zones (28%). Ceci s'explique en particulier par le poids de l'histoire des forêts des Cévennes dans l'analyse. Les zones périphériques des parcs et les parcs naturels régionaux (catégorie UICN V) présentent, comme la catégorie précédente, mais dans une moindre mesure, moins de noyaux forestiers anciens qu'en dehors. Ces zones vastes comprennent, en France, de grandes surfaces d'abandon cultural récent. Les zones Natura 2000 enfin recèlent à peine plus de noyaux forestiers anciens qu'en dehors. La liste des espèces et habitats prioritaires (dont l'absence de certains habitats liés à l'ancienneté, comme les hêtraies-sapinières et sapinières) n'y est sans doute pas étrangère. Une très grosse part des noyaux forestiers anciens (près de 3 400 000 ha, 20% de la surface des noyaux forestiers anciens, 6% de l'ensemble des forêts actuelles) n'est concernée par aucun des statuts UICN.

- **dans le Var** (annexe 6), la RBI et la RN des Maures sont principalement composées de noyaux forestiers anciens, en proportion plus élevée que dans les forêts non protégées (64% de noyaux forestiers anciens dans les catégories UICN I et IV, contre 37% en dehors).

- **dans les Pyrénées-Orientales** (annexe 7), tous les statuts (réserve naturelle, parc naturel régional) et Natura 2000, comprennent significativement plus de noyaux forestiers anciens (12% des forêts actuelles tous statuts confondus) qu'en dehors (7% des forêts actuelles).

Les espaces forestiers de type réserve (catégorie UICN I et IV) privilégient très nettement les noyaux forestiers anciens, ce qui apparaît *a posteriori* logique. La tendance est la même, mais nettement moins marquée, pour les zones Natura 2000. Les statuts de PN et PNR, qui jouent un rôle important dans la conservation de la nature en France, en raison de leur grande surface, privilégient indirectement des zones

forestières récentes, ou du moins non présentes sur la carte de Cassini. Les noyaux forestiers anciens qui s'y trouvent y sont d'autant plus importants en termes de conservation de la biodiversité des forêts.

Croisement de la carte des noyaux forestiers anciens avec les cartes de l'IFN, le type d'usage CLC et le modèle numérique de terrain

Pour deux départements où nous disposons de données, le Var et les Pyrénées-Orientales (Annexe 6 et 7), nous avons testé le lien entre la présence des noyaux forestiers anciens et :

- **la situation topographique** (pente, altitude, exposition).

Dans le Var, département à relief moyennement contrasté, les noyaux forestiers anciens ne sont que très légèrement plus fréquents au-dessus de 400 m d'altitude qu'en-dessous et non liés à la pente ou à l'exposition.

Il n'en est pas de même dans les Pyrénées-Orientales, dont la présence des noyaux forestiers anciens est fortement et assez régulièrement liée à l'altitude et à l'exposition. Dans les forêts situées entre 0 et 400 m, on trouve 4,5% de noyaux forestiers anciens (risque relatif, par rapport au pourcentage de noyaux forestiers anciens hors de cette classe d'altitude, de 0,4) ; entre 400 et 800 m, 7,4% (risque relatif de 0,8) ; entre 800 et 1600 m, 8,7% (risque relatif de 1,0) et 16,8% au-dessus de 1600 m (risque relatif de 2,4). En versant sud, les noyaux forestiers anciens sont rares (4% des boisements, risque relatif de 0,4) ; en versant est et ouest, ils représentent 9% des boisements (risque relatif proche de 1) et 12% en versant nord (risque relatif de 1,7).

Pour les pentes enfin, les noyaux forestiers anciens sont plus fréquents dans les pentes inférieures à 30% que dans celles supérieures à ce seuil. Globalement, les noyaux forestiers anciens se retrouvent bien, surtout en zone montagnarde, dans les zones les moins appréciées par l'agriculture : altitudes élevées, versants nord et pentes fortes.

- **le statut de propriété** selon la carte de l'IFN. Dans le Var, il y a proportionnellement plus de

noyaux forestiers anciens dans les forêts communales (56%, risque relatif de 1,6) et domaniales (48%, risque relatif de 1,3) que dans les forêts privées (34%, risque relatif de 0,6).

- **le type de forêt** selon la nomenclature Corine Land Cover.

Dans les Pyrénées-Orientales, il y a proportionnellement plus de noyaux forestiers anciens en forêt de conifères (16%, risque relatif de 2,2) en raison en partie du lien avec l'altitude déjà noté et très peu en végétation sclérophylle (3%, risque relatif de 0,3). Les forêts de feuillus non sclérophylles ou mélangées sont en position intermédiaire (9%), contenant autant de noyaux forestiers anciens que le reste des forêts (risque relatif de 1,1).

Dans le Var, on observe une situation nettement différente : la proportion de noyaux forestiers anciens est la plus faible en forêt résineuse (23%, risque relatif de 0,6) et la plus grande en forêt feuillue (45%, risque relatif de 1,3). Les végétations sclérophylles sont en situation intermédiaire. Mais le point le plus remarquable est, malheureusement, la très forte représentation des noyaux forestiers anciens dans les zones incendiées (62%, risque relatif de 1,7). Ces noyaux forestiers anciens incendiés représentent moins de 5% de la surface totale des noyaux forestiers anciens. On peut se poser la question de l'impact comparé de l'ancienneté (non mise en culture) et de l'incendie (réduction de la maturité notamment) sur la biodiversité méditerranéenne.

- **le type de peuplement** selon la nomenclature de la carte de l'IFN.

Dans le Var, les taillis et les reboisements ont une proportion de noyaux forestiers anciens plus élevée qu'en dehors de ces types de peuplement. Les futaies et mélanges futaie-taillis recèlent une proportion de noyaux forestiers anciens plus faible qu'en dehors, montrant le poids départemental des futaies pionnières, de Pin d'Alep notamment.

Les relations esquissées ici mériteraient d'être étendues à l'ensemble de la France et à d'autres paramètres stationnels (type d'habitat, type de sol...) et sylvicoles (composition en essences, volume sur pied, croissance...) des peuplements forestiers.



© D. Villaret

PERSPECTIVES

Un outil utile à la disposition de tous

L'information sur les forêts de la carte de Cassini est fiable à petite échelle (sans grossissement excessif) et pour les grandes forêts anciennes. Comparée aux différentes cartes anciennes représentant les forêts de France (Dupouey *et al.*, 2007a), la carte de Cassini présente :

- des avantages (échelle des levés, date ancienne, bonne précision géodésique relativement à sa date de réalisation, facilité de digitalisation) ;
- des inconvénients (faible précision du dessin des contours et de la localisation des forêts, lacune dans les petits bois, date antérieure au minimum forestier).

Des cartes plus récentes, datant du XIX^e siècle, sont actuellement en cours de digitalisation dans certaines régions de France, conduisant à une information complémentaire et plus précise.

Le présent travail rend disponible sous forme de couche SIG l'ensemble des contours des forêts représentées sur la carte de Cassini. Les couches SIG obtenues (forêts de Cassini, croisement avec Corine Land Cover) ainsi que les données quantitatives par entité administrative sont fournies sur le CD joint à ce rapport, de même que les cartes régionales ou départementales. Ces données sont mises à disposition libre de droit pour tout usage, sous réserve de mentionner la référence à ce rapport. Les couches SIG ouvrent des possibilités d'analyses complémentaires à tous les gestionnaires, historiens ou écologues... qui souhaitent en faire usage.

Il est important de rappeler ici que si la couche SIG est facile d'utilisation, le croisement avec des données d'autres sources doit être précisément réfléchi, sous peine de conduire à des résultats erronés. Il est notamment important de :

- l'utiliser à une échelle adéquate. On ne descendra pas à des niveaux d'analyse plus fins que le département ;
- procéder à cette échelle-là à des redresse-

ments (géoréférences) plus précis de la couche nationale, comme nous l'avons fait dans ce travail pour le Var, les Pyrénées-Orientales (voir annexes 4, 6, 7, 8) et les Hautes-Alpes (annexe 8) ;

- bien tenir compte des imprécisions de la carte originale, que ce soit en termes de localisation géographique des massifs, de qualité de la représentation de leur forme et d'exhaustivité de leur inventaire.

Perspectives scientifiques

Les perspectives scientifiques sont variées et multidisciplinaires (histoire, sciences naturelles, écologie historique). Parmi celles-ci, on peut citer :

- l'étude à large échelle de l'impact du passé agro-pastoral sur la distribution actuelle de la biodiversité remarquable ou ordinaire et le fonctionnement des écosystèmes forestiers ;

- la connaissance de l'objet « noyau forestier ancien », de ses valeurs de conservation, de ses particularités sylvicoles (impact sur les stations, sur leur fertilité) et fonctionnelles (état des sols, cycles biogéochimiques, du carbone en particulier) ;

- l'identification des espèces indicatrices de l'ancienneté de l'état boisé pour des groupes variés (flore, faune, fonge), notamment par le croisement à large échelle avec les bases de données naturalistes nationales ou régionales ;

- l'étude de l'importance relative des effets de l'ancienneté de l'état boisé par rapport à ceux des structures paysagères (degré de morcellement, degré de connectivité des massifs boisés...). Les effets de ces deux types de facteurs pourraient être synergiques. Ce type d'étude couplant analyse historique et paysage nécessite la confrontation de terroirs variés. Il aiderait à caractériser la place que peuvent prendre des trames forestières dans l'adaptation des forêts, en particulier face aux changements climatiques ;

- l'étude de l'importance relative, sur l'état actuel et le fonctionnement des écosystèmes forestiers, des effets de l'ancienneté de l'état boisé par rapport à ceux d'autres facteurs de naturalité (maturité du peuplement, présence de bois mort, indigénat du peuplement, structure, spontanéité), ou par rapport à ceux de divers types d'actions sylvicoles passées ;
- la caractérisation précise, spatialisée, des biais de la carte de Cassini par comparaison avec d'autres sources historiques de la même époque ;
- la comparaison des taux de couvert forestier à diverses dates, modernes grâce aux cartes, ou à des dates plus anciennes par couplage avec des approches paléoécologiques (palynologie...). Les travaux en cours sur la carte d'Etat-Major (Lorraine et Vercors par l'INRA, Luberon et région méditerranéenne par le WWF, les parcs nationaux des Cévennes par PNF et des Pyrénées par l'INRA, région parisienne par l'ONF...), complétés localement par la vectorisation du cadastre napoléonien (Parc national du Mercantour) laissent entrevoir la possibilité de réalisation à moyen terme d'une carte complémentaire et plus précise de l'ancienneté des forêts et des prairies à l'échelle de l'ensemble de la France pour la première moitié du XIX^e siècle ;
- l'amélioration des modèles de la dynamique forestière à long terme, l'étude de ses liens avec l'évolution de la société. En particulier, la comparaison, sur la France entière, de la carte de Cassini avec les informations apportées par l'IGN (type de propriété, type de forêt, exposition, pente, altitude) ou le MNHN (ZNIEFF, statuts de protections, espèces protégées) pourrait s'avérer riche, à l'instar de ce qui est esquissé de façon préliminaire en annexe 6 et 7 pour deux départements.

Perspectives pour le gestionnaire

Le gestionnaire forestier ou d'espaces naturels est amené à faire des choix complexes, avec de nombreuses lacunes de connaissances et dans un environnement incertain, à cause notamment des changements globaux ou régionaux annoncés et en cours. Pilotant des écosystèmes régis par le temps long, l'histoire et l'écologie historique lui sont indispensables. L'ancien-

neté de l'état boisé est en particulier un élément clef de compréhension de la distribution actuelle de la biodiversité et de la productivité des écosystèmes. Mais les documents nécessaires à la collecte de cette information étaient jusqu'ici difficiles d'accès. Avec la vectorisation des forêts de la carte de Cassini, nous franchissons un pas dans la mise à disposition de cette information sur l'usage ancien du sol.

Cette carte devrait aider, entre autres exemples, à :

- sensibiliser les propriétaires et gestionnaires des noyaux forestiers anciens à la valeur de leur patrimoine ;
- contribuer à mettre en œuvre les indices actuels de qualité potentielle des écosystèmes (IBP –Larrieu & Gonin, 2008–, indices composites de naturalité, bon état de conservation...) ;
- inventorier les forêts anciennes ;
- améliorer les outils du gestionnaire que cela soit en aménagement forestier (plan de gestion), pour la typologie et cartographie des stations, le choix de la localisation des points d'échantillonnage (ou d'inventaire) de la biodiversité, la mise en œuvre d'un réseau de conservation, notamment la délimitation des réseaux d'îlots de sénescence et des réserves intégrales ;
- identifier des zones clés dans la stratégie d'adaptation aux changements globaux.

Cet outil doit toutefois être apprivoisé par le gestionnaire, en prenant garde aux limites et dangers qui ont été soulignés dans ce rapport. Au niveau local en particulier, on ne peut pas se baser sur la seule carte de Cassini pour identifier les forêts anciennes, et on doit la compléter par d'autres informations historiques, plus précises. L'alliance avec les historiens locaux reste nécessaire. L'accès en ligne à une visualisation des minutes en couleur de la carte de l'Etat-major depuis fin 2010 (<http://www.geoportail.fr/>), puis à leur téléchargement en 2011, vient partiellement pallier ces limites, tout comme, dans un nombre croissant de départements, la mise en ligne des plans du cadastre napoléonien. Ces plans cadastraux anciens ne permettent cependant que rarement de reconstruire l'usage ancien des parcelles, qui nécessite la consultation des « matrices », souvent non encore numérisées.

C'est aux échelles départementales, régionales et nationales que la carte des forêts de Cassini est la plus pertinente. Dans l'établissement des trames vertes par exemple, la prise en compte des noyaux forestiers anciens apparaît incontournable. Ils doivent être intégrés dans les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE), et plus largement dans les documents d'aménagement de l'espace, ou d'urbanisme (SCOT, PLU).

En guise de conclusion

La vectorisation des forêts sur la carte de Cassini était une étape nécessaire dans la prise en compte croissante de l'ancienneté de l'état boisé, en écologie forestière et dans la gestion de l'environnement. Ce travail s'inscrit dans un mouvement inéluctable de mise à disposition sous forme informatique d'une histoire de l'usage du sol des territoires très anthropisés d'Europe de l'Ouest.

La prochaine étape devrait être la vectorisation des usages des sols au XIX^e siècle à partir des minutes de la carte d'Etat-Major, reflet du cadastre napoléonien. A plus long terme, il est envisagé un portail qui permettrait, à des finesses spatiales variables et pour toute date, d'accéder aux documents existants, cartographiques ou non, sur l'histoire de l'usage des sols.

En matière d'écologie historique et, plus particulièrement d'ancienneté de l'état boisé, un effort pédagogique important est toutefois encore nécessaire pour expliquer et faire comprendre l'objet même révélé par les archives et

les cartes historiques. Le rôle majeur de l'ancienneté de l'état boisé, et plus généralement du passé d'usage du sol, sur le fonctionnement des écosystèmes n'a pas encore été pleinement intégré par les gestionnaires et décideurs.

Concernant cette première carte informatisée des forêts de Cassini, nous espérons que notre travail va permettre une mise en œuvre plus aisée des comparaisons entre forêts actuelles et forêts du XVIII^e siècle, sur de grands territoires. Paradoxalement, mais pour des raisons pratiques évidentes, c'est souvent à l'échelle la moins pertinente, l'échelle du massif ou de la petite région, que la carte de Cassini était le plus souvent mobilisée jusqu'à maintenant. L'identification des grands noyaux forestiers anciens ouvre la porte à une première prise en compte de l'ancienneté de l'état boisé dans la mise en place des stratégies de préservation de la biodiversité, aux échelles régionale et nationale, et en particulier dans l'établissement de la trame verte.

Ce travail ouvre aussi un large champ de questions, méthodologiques, écologiques, historiques. Les limites de la carte de Cassini doivent être encore précisées et, surtout, spatialisées, en collaboration avec les historiens.

Alors demain, un effort coordonné pour connaître, comprendre et faire comprendre, cartographier et mieux gérer les forêts anciennes ? C'est à cela que ce premier aperçu national, à partir des forêts représentées sur la carte de Cassini, aura, nous l'espérons, contribué. Plus de deux siècles et demi après le début de cette œuvre visionnaire, la carte de Cassini reste un outil d'actualité.



© D. Villan

RÉFÉRENCES

- Andrieu, E., Ladet, S., Heintz, W., Deconchat, M. 2011. History and spatial complexity of deforestation and logging in small private forests, *Landscape and Urban Planning* 103, 109-117.
- Anonyme, 1835. Documents statistiques sur la France. Imprimerie royale, Paris, 205 p.
- Anonyme, 1868. Statistique de la France. Agriculture. Résultats généraux de l'enquête décennale de 1862. Berger-Levrault, Strasbourg, 272 p.
- Bartoli, M. (à paraître). Hippolyte de La Hamelinaye (1861-1935), forestier utilisateur et créateur de cartes anciennes.
- Berthaut, H. 1898. La carte de France, 1750-1898, Etude historique. Imprimerie du Service géographique de l'Armée, tome I, 341 p.
- Berthaut, H. 1902. Les ingénieurs géographes militaires (1624-1831) : étude historique, 2 tomes. Service géographique de l'Armée, Paris.
- Blache, J. 1923. L'essartage, ancienne pratique culturale dans les Alpes dauphinoises. *Revue de géographie alpine* 11 (3) : 553-575.
- Blond, S. 2008. L'atlas de Trudaine. Pouvoirs, administrations et savoirs techniques (vers 1730-vers 1780). Thèse de Doctorat, 3 vol., EHESS, Paris, 700 p.
- Brette, A. 1907. Les limites et les divisions territoriales de la France en 1789. Edouard Cornély et Cie Editeurs, Paris, 120 p.
- Camus, C. 2010. Étude préalable à la création d'un réseau de forêts rhonalpines en évolution naturelle pour le maintien de la biodiversité. Mémoire ENITA Bordeaux, 69 p.
- Carcaillet, C., Talon, B. 2003. La forêt en France depuis la dernière glaciation. In Vallauri D. (coord.). Livre blanc sur la protection des forêts en France. Les forêts métropolitaines. Lavoisier, Tec & Doc, Paris, 19-33.
- Carles, J. 1943. Le Mezenc et son boisement. *Etude phytogéographique, Les Études rhodaniennes* 18 (3) : 161-179.
- Cassini de Thury, C.F. 1754. Avertissement ou introduction à la carte générale et particulière de la France. B.N.F. (NUMM-68015), 28 p.
- Cassini de Thury, C.F. 1757. Table alphabétique de la distance à la méridienne et à la perpendiculaire de toutes les paroisses comprises dans la feuille de Sens, table n°5.
- Cassini de Thury, C.F. 1783. Description géométrique de la France. Paris, Imp. Desaint J.C., 208 + 2 p. + 1 carte.
- Cassini, J.D. 1810. Mémoires pour servir à l'histoire des sciences. Bleuët, Paris, 395 pages.
- Cinotti, B. 1996. Evolution des surfaces boisées en France : proposition de reconstitution depuis le début du XIX^e siècle. *Revue Forestière Française* 47 (6) : 547-562.
- Clout, H. 1973. Reclamation of wasteland in Brittany, 1750-1900. *Bulletin de la Société Royale de Géographie d'Anvers* 84 (4) : 29-60.
- Cointat, M. 1954. La dégradation des forêts dans le département du Gard. *Revue forestière française* (2) : 99-114.
- Corvol, A. 1987. L'Homme aux bois. Histoire des relations de l'homme et de la forêt (XVII^e - XXI^e siècle). Fayard, 585 p.
- Dainville, F. de 1957. La carte de Guyenne par Belleyme, 1761-1840. Delmas, Bordeaux, 63 p.
- Dambrine, E., Dupouey, J.L., Laüt L., Humbert, A., Thinon, M., Beaufiles, T., Richard, H. 2007. Present forest biodiversity patterns in France related to former Roman agriculture. *Ecology* 88 (6) : 1430-1439.
- Davasse, B., Galop, D. 1990. Le paysage forestier du haut Vicdessos (Ariège) : l'évolution d'un milieu anthropisé. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 61 (4-1) : 433-457.
- Deconchat, M. 1999. Exploitation forestière et biodiversité : exemple dans les forêts fragmentées des coteaux de Gascogne. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse III, 191 p.
- Delsalle, P. 1998. L'étude du cadre de vie à travers les cartes de Cassini : notice d'utilisation et d'exploitation. *Bulletin du Centre d'Histoire moderne et contemporaine de l'Europe méditerranéenne et de ses périphéries* 1, 17-34.

- Devèze, M. 1982. Les forêts françaises à la veille de la Révolution de 1789. In Devèze M., La forêt et les communautés rurales XVI^e-XVIII^e siècles. Recueil d'articles. Publications de la Sorbonne 3, 179-210.
- Douguedroit, A. 1976. Les paysages forestiers de Haute-Provence et des Alpes-Maritimes. Géographie, écologie, histoire. Edisud, Aix-en-Provence. 550 p.
- Dubois, J.J., 1989. Espaces et milieux forestiers dans le Nord de la France. Etude de biogéographie historique, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris I, 2 vol., 1023 p.
- Dupouey, J.-L., Bachacou, J., Cosserat, R., Aberdam, S., Vallauri, D., Chappart, G., Corvisier de Villèle, M.A. 2007a. Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France. *Le Monde des Cartes* 191 : 85-98.
- Dupouey, J.-L., Dambrine, E., Dardignac, C., Georges-Leroy, M. 2007b. La mémoire des forêts. Actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement » (14-16 décembre 2004). Co-édition ONF/INRA/DRAC Lorraine, 294 p. + DVD.
- Dupouey, J.-L., Dambrine, E., Moares, C., Lafitte, J.D. 2002a. Irreversible impact of past land use on forest biodiversity. *Ecology* 83: 2978-2984.
- Dupouey, J.-L., Sciama, D., Koerner, W., Dambrine, E., Rameau J.-C. 2002b. La végétation des forêts anciennes. *Revue forestière française* 54 (6) : 521-532.
- Dupouey, J.-L., Dambrine, E. 2010. Les changements passés de l'usage des sols, une cause majeure d'érosion de la naturalité des forêts européennes. In Vallauri, D., Génot, J.-C., André, J., De Palma, J.-P., Eynard-Machet, R. (coord.) 2010. Biodiversité, Naturalité, Humanité. Pour inspirer la gestion des forêts. Lavoisier, Tec & Doc, Paris, 125-135.
- EHESS, http://cassini.ehess.fr/cassini/fr/html/5_donnees.htm, consulté le 13/11/2011.
- European Environment Agency, 2007. CLC 2006 technical guidelines. EEA Technical report 17, Copenhagen, 66 p.
- Favre, C., Granier, E., Cosserat-Mangeot, R., Bachacou, J., Dupouey, J.L. 2012. La digitalisation des cartes anciennes. Manuel pour la vectorisation de l'usage des sols et le géoréférencement de la carte d'Etat-Major. INRA, 41 p.
- Fourchy, P. 1944. Remarques sur la question du déboisement des Alpes. *Revue de géographie alpine* 32 (1) : 113-128.
- GHFF 1982. Histoire des forêts françaises. Guide de recherche. CNRS Editions, Paris, 193 p.
- Henry, S. 1943. La forêt de Bouconne. Etude de géographie historique. Privat, Toulouse, 258 p.
- Hermey, M., Honnay O., Firbank, L., Grashof-Bokdam, C., Lawesson, J.E. 1999. An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation* 91 : 9-22.
- Huffel, G. 1904. Economie forestière. Editions Lucien Laveur, Paris, tome premier.
- La Haye, R. de 1957. Aliénation et défrichement des forêts domaniales de la maîtrise de Valognes. *Revue forestière française* (11) : 811-816.
- Larrieu, L., Gonin, P. 2008. L'indice de Biodiversité Potentielle (IBP) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française* (6) : 727-748.
- Lemaitre, J.L., Lemaitre, N. 2006. Le pays d'Ussel dans la carte de Cassini. Musée du pays d'Ussel, De Boccard, Paris, 57 p.
- Lenoble, F. 1923. La légende du déboisement des Alpes. *Revue de géographie alpine* 11 (1) : 5-116.
- Mather, A.S. 1992. The forest transition. *Area* 24 (4) : 367-379.
- Necker, J. 1784. De l'administration des finances de la France. Sans lieu, tome I, 352 p.
- Pelletier, M. 1990. La carte de Cassini. L'extraordinaire aventure de la carte de France. Editions Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 263 p.
- Pelletier, M. 2002. Les cartes des Cassini : la science au service de l'Etat et des régions. Editions du CTHS, Paris, 338 p.
- Ponchelet, D. 1995. Le débat autour du déboisement dans le département des Basses-Alpes, France (1819-1849). *Revue de géographie alpine* 83 (1) : 53-66.
- Rougier de la Bergerie, J.B. 1817. Les forêts de la France. Arthus Bertrand, Paris.
- Sciama D., Augusto L., Dupouey J.L., Gonzalez M., Moares Domínguez C. 2009. Floristic and ecological differences between recent and ancient forests growing on non-acidic soils. *Forest Ecology and Management* 258 : 600-608.
- Sclafert, T. 1933. A propos du déboisement des Alpes du sud. *Annales de géographie* XLII : 266-277 et 350-360.
- Sclafert, T. 1934. A propos du déboisement des Alpes du sud. *Annales de géographie* XLIII : 126-145.

- Tellès d'Acosta, D.A. 1791. Plan d'une nouvelle administration pour les forêts de France. Cailleau, Paris, 150 p.
- Touzery, M. 1995a. Dictionnaire des paroisses fiscales de la généralité de Paris d'après le cadastre de Bertier de Sauvigny, 1776-1791. Éditions du Lys, 628 p.
- Touzery, M. 1995b. Atlas de la Généralité de Paris au XVIII^e siècle. Un paysage retrouvé. Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, 176 p.
- Tschaen, L. 2001. Le cadastre de la province d'Alsace. *Revue d'Alsace* 127 : 189-217.
- Vallauri, D. 1997. Aperçu sur l'évolution écologique des forêts dans les Préalpes du sud depuis la Révolution. *Forêt Méditerranéenne* 18 (4) : 327-339.
- Vallauri, D. 2007. Biodiversité, naturalité, humanité. Application à l'évaluation des forêts et de la qualité de la gestion. Rapport scientifique WWF, Marseille, 85 p.
- Vallauri, D., Lorber, D., Peters, P., Pimenta, R. 2009. Contribution à l'analyse des forêts anciennes de Méditerranée. 2. Critères et indicateurs d'empreinte humaine. Rapport WWF, Marseille, 62 p.
- Vallauri, D. (coord.) 2003. Livre blanc sur la protection des forêts naturelles en France. Forêts métropolitaines. Lavoisier, Tec & Doc, Paris, 261 pages.
- Varenne de Fenille, P.C. 1807. Troisième Mémoire. Sur la nécessité et les moyens de remettre de niveau la consommation et la reproduction des bois du royaume. In *Mémoires sur l'administration forestière*, 2e édition, Marchant A.J., Paris. [première publication en 1791].
- Woronoff, D. (coord.) 1989. Révolution et espaces forestiers. L'Harmattan, Paris, 264 p.
- Young, A. 1792. Travels during the years 1787, 1788, and 1789 undertaken more particularly with a view of ascertaining the cultivation, wealth, resources, and national prosperity, of the kingdom of France. W. Richardson, London, 570 p. Accessible via Google Books.

ANNEXES NUMÉRIQUES

- Le rapport (en .pdf)
- L'affiche, version français/anglais (en .pdf)
- **Annexe 1.** Dix huit figurés représentant la forêt sur la carte de Cassini (en .pdf)
- **Annexe 2.** Emprise de la carte de Cassini (en .jpg)
- **Annexe 3.** Cartes des forêts de Cassini (en .jpg)
- **Annexe 4.** Cartes de la comparaison aux forêts actuelles (en .jpg)
- **Annexe 5.** Statistiques générales (en .xls)
- **Annexe 6.** Statistiques détaillées pour le Var (en .xls)
- **Annexe 7.** Statistiques détaillées pour les Pyrénées-Orientales (en .xls)
- **Annexe 8.** Couches SIG libres de droits



Résumé - Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison aux forêts actuelles.

En 1747, Louis XV confie à Cassini de Thury la réalisation de la « Carte générale et particulière de la France ». L'objectif est alors d'achever la mesure du Royaume et de déterminer la position des innombrables bourgs, villes, lignes principales constituées par les rivières et par les grands chemins. En 42 ans, 96% de la France actuelle mais aussi 1,8 millions d'ha en position frontalière ont ainsi été cartographiés. Les forêts y sont représentées sous différents figurés. Utilisée régulièrement par les forestiers pour avoir une idée de l'histoire d'une région forestière, cette carte n'a jamais été analysée dans son ensemble avec l'aide d'un système d'information géographique (SIG). La présente étude cherche à combler cette lacune, notamment dans le but d'explorer et de préciser son intérêt et ses limites pour les utilisations possibles (identification des noyaux forestiers anciens, étude de l'évolution des paysages, analyse des conséquences de l'ancienneté sur la biodiversité, la dynamique ou la fertilité...). Sur les parties du territoire français actuel représentées par la carte de Cassini (52,6 millions d'ha), seuls 6,6 millions d'ha sont des forêts, soit un taux de boisement égal à 12,6%. Ce rapport et son CD-Rom, qui contient libre de droit les couches SIG redressées à l'échelle nationale, ne constituent qu'un début des analyses de l'ancienneté des boisements de France et présentent de nombreuses perspectives en termes scientifiques (histoire, sciences de la nature) ou de gestion et conservation des forêts.

Résumé exécutif, page 2



Summary - The forests of Cassini. A quantitative analysis and comparison to current forests.

In 1747, King Louis XVth missions Cassini de Thury to undertake a « General map of France ». The aim was at that time to finalise the measurement of the kingdom and to determine the number and position of villages, towns, rivers, and main paths. In 42 years, 96% of current France, but also 1.8 millions ha on its frontiers, have been mapped. The forests are mapped with different drawings. Regularly used by foresters to give an idea of the history of an ecoregion, this map has not been yet analysed globally using GIS. The current study seeks to fill that gap, especially with the aim to explore and specify its strengths and limits for various possible uses (identification of ancient forests, landscape dynamics studies, implication of ancientness on biodiversity, dynamics, fertility...). On the current French territory covered by the map (52.6 millions ha), only 6.6 millions ha are forests, i.e. forest cover is 12.6%. This study, providing GIS layers of forest history on large scale – and free of copyrights –, is only at its beginning. It opens many possibilities of analysis on ancientness of forest in France, and is rich of scientific (history, natural sciences) and management perspectives.

Executive summary, page 3.

Daniel Vallauri

WWF
6 rue des Fabres
F-13001 Marseille
dvallauri@wwf.fr

Audrey Grel

FRNC
24 avenue Jean Jaurès
F-66500, Prades
audrey.grel@live.fr

**Evelyne Granier
& Jean-Luc Dupouey**

INRA-Université de Lorraine,
Unité Ecologie et
Ecophysiologie forestières,
F-54280 Champenoux,
egraniem@nancy.inra.fr,
dupouey@nancy.inra.fr

