

Cartographies de dégâts tempétueux sur des écosystèmes forestiers

Exemples de cartes réalisées en fonction des plans de sondage portant sur trois forêts françaises (Conches-Breteuil, Eure, Armainvilliers et Fontainebleau, Seine-et-Marne)

Vincent GODARD – vgodard@univ-paris8.fr

BIOGEO-CNRS FRE2545

Luc BARRUEL – luc.barruel@free.fr

LADYSS-CNRS UMR7533

Université de Paris 8 – Maison des Sciences de l'Homme Paris Nord

4, rue de la Croix Faron, 93210 La Plaine Saint-Denis

RÉSUMÉ. La cartographie des dégâts occasionnés par un aléa, comme les tempêtes sur des écosystèmes forestiers, repose sur des enquêtes de terrain. Celles-ci sont organisées selon un plan d'échantillonnage qui va conditionner les résultats chiffrés mais également cartographiques. Selon que l'échantillon est « exhaustif », avec passage sur l'ensemble des unités de gestion et affectation de l'information collectée aux sous-parcelles délimitées, ou constitué de placettes disjointes, avec ou sans régionalisation des connaissances ponctuelles à l'ensemble de la zone d'étude, le rendu cartographique et donc la connaissance des dégâts peuvent être fort variables. Cet article se propose de présenter des cartographies de conceptions et rendus variés issues de trois plans d'échantillonnage différents. Ils ont pour support trois massifs forestiers touchés par les tempêtes de décembre 1999, à savoir : Conches-Breteuil, Eure, Armainvilliers et Fontainebleau, Seine-et-Marne..

MOTS-CLÉS : cartographie, échantillon, forêt, France, plan de sondage, tempête

Introduction

Les deux tempêtes Lothar (26 décembre 1999) et Martin (27 et 28 décembre 1999) ont causé d'important dégâts aux forêts françaises. De nombreuses méthodes ont été employées pour en évaluer les dégâts. Certaines reposent sur un inventaire qui se veut exhaustif. C'est le cas des compagnies d'assurance qui envoi d'un expert forestier pendant plusieurs semaines pour dresser une cartographie de l'intensité des dégâts et des surfaces touchées (Lallement, 2002), ou bien de l'Office national des forêts français (ONF) qui procède de façon similaire en envoyant des équipes de techniciens forestiers dresser l'inventaire des dégâts (Jaubert, 2001). Toujours dans une démarche exhaustive mais pour limiter la phase de terrain longue et coûteuse, à l'instar des travaux de l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Île-

de-France (IAURIF), il est possible de cartographier, par photo-interprétation sur photographies aériennes post tempêtes, les dégâts (Anonyme, 2000). Enfin, certaines méthodes vont marier photo-interprétation ou traitements d'images satellitaires et enquêtes de terrain. Cependant, celles-ci ne prétendent plus à l'exhaustivité, elles s'appuient sur un échantillon de points ou de placettes dont l'information sera « régionalisée » à l'ensemble de la zone d'étude, pour peu que l'échantillon soit représentatif. Cette approche a été développée par au moins deux contractants à l'appel d'offre du GIP-ECOFOR sur les « Recherches forestières à conduire à court terme suite aux tempêtes de fin décembre 1999 » de 2001 (Amat *et al.*, 2003, Stach *et al.*, 2002). Trois exemples de cartographie sont présentés ici. L'un est issu d'un inventaire exhaustif, les deux autres d'un échantillon de placettes avec ou sans régionalisation.

1. Présentation des plans d'échantillonnage

Différentes méthodes de collecte de l'information ont été exploitées, tant sur le terrain que sur les documents et bases de données. Dans certains massifs, l'absence d'information sur les dégâts imposait de faire reposer intégralement la collecte sur une enquête de terrain. Dans d'autres, l'existence de bases de données ONF permettait une exploitation de celles-ci avec ou sans recours au terrain. Il convient donc de présenter les différents cas de figure dans leur spécificité pour évaluer ensuite la possibilité de comparer les résultats obtenus.

Deux procédures de tirage des unités d'enquête ont été utilisées. L'une relève des tirages d'unités ponctuelles, *a priori* asurfaciques, mais pour lesquelles pratiquement on inventorie, sur le terrain, une placette d'environ un tiers d'hectare. La procédure est comparable à celle développée par l'Inventaire forestier national pour les sondages de deuxième et troisième phase de l'inventaire général (IFN, 1985, p.35) soit un inventaire sur des placettes de 20 ares. L'autre relève des tirages surfaciques pour lesquels l'information est disponible à la parcelle ou sur un découpage infra parcellaire. La méthode relève des tirages de segments libres (Fournier, 1986, p.7), voire des recensements.

1.1. Échantillonnage ponctuel

- Tirage systématique de points

Cette procédure de tirage a été appliquée sur le massif de Conches-Breteil (forêts des Hospices civils de Lyon et du Groupement forestier de Souvilly, *cf.* figure 2). Pratiquement,

les cartes topographiques sont importées puis géoréférencées dans un SIG (ici Géoconcept). Ensuite, une grille, dont l'origine a été tirée aléatoirement, est appliquée sur la zone d'étude. Les intersections sont distantes de 500 m sur le terrain ; chacune devient un point d'enquête. Sur la forêt des Hospices civils de Lyon, 44 points ont été enquêtés, 47 sur celle du Groupement forestier de Souvilly. La phase de terrain a eu lieu d'août à novembre 2000.

L'inventaire proprement dit porte sur des surfaces d'environ 2 100 m². En dehors des comptages prenant le centre de la placette pour référence, une placette est enquêtée sous forme d'une succession de stations espacées de cinq mètres et décrivant un rectangle de 30 m par 70 m. La fiche d'enquête est commune, dans ses grandes lignes, avec celle de Bourron-Marlotte en forêt de Fontainebleau (Amat *et al.*, 2003, annexe 2).

- Tirage aléatoire et stratifié de points

Cette procédure de tirage a été appliquée au secteur de Bourron-Marlotte (*cf.* figure 3). La zone d'étude est divisée en deux sous parties : l'une est constituée des deux RBI (réserves biologiques intégrales de *Les Érables et Déluge* et de *La Gorge aux loups*) ; l'autre est hors réserve (HR) en forêt domaniale. Le tirage des points échantillon a été réalisé en deux étapes à l'aide d'un SIG (ici IDRISI). Un premier tirage, sur la zone hors réserves, a donné 12 points, un second, sur les réserves, 23 points. Dans les deux cas, le tirage est aléatoire et stratifié. Le logiciel génère des coordonnées X et Y aléatoires (comme pour un tirage élémentaire) à l'intérieur des cases d'une grille pour assurer une bonne répartition des points (comme pour un tirage systématique).

Pratiquement, les cartes topographiques ont été importées puis géoréférencées, avant de servir de support aux tirages des échantillons. La phase de terrain a eu lieu de juin à septembre 2001. L'inventaire proprement dit porte sur des surfaces d'environ 3 600 m². En dehors des comptages prenant le centre de la placette pour référence, une placette est enquêtée sous forme d'une succession de stations espacées de dix mètres et décrivant un rectangle de 60 m par 60 m.

1.2. Échantillonnage surfacique

Dans la procédure d'enquête appliquée à la forêt d'Armainvilliers, il s'agit plus d'un recensement ayant un caractère « exhaustif » que d'un échantillonnage. Une zonation a été effectuée, par report sur carte, à l'issue de martelages ou de tournées d'observations pour évaluer les dégâts (Jaubert, 2001, p.26) et établir une cartographie couvrant l'ensemble de la zone d'étude. L'unité d'enquête est la parcelle ou la sous-parcelle.

Les données collectées sur le terrain sont des volumes de chablis par parcelle et des données concernant la structure du peuplement, le stade de développement, les essences (prépondérantes et secondaires) et les données du milieu (essentiellement topographiques et pédologiques). Ces données ont été collectées sur des documents cartographiques existants (ONF, 2001a, b et c ; IGN, 1998). La campagne de photographies aériennes financée par l'ONF et la région IDF en janvier 2000 s'est révélée difficilement exploitable. Les clichés, en soleil rasant, ne permettent que difficilement de distinguer les arbres debout (ombre portée) de ceux qui sont couchés. Les photos n'ont donc été utilisées qu'exceptionnellement, en complément des levés de terrain.

2. Traitement de l'information

Différentes méthodes de traitement ont été pratiquées. La première, statistique, a servi à produire, dans l'urgence souvent, des tableaux d'estimation des dégâts. La deuxième, qui se nourrit de la première, relève des méthodes de cartographie classique ou multivariée. Enfin, la dernière s'oriente vers des analyses mettant en jeu des données satellitaires. L'objectif étant toujours d'apprécier l'impact de la tempête sur différents écosystèmes forestiers.

Chaque massif étudié présente des traitements de statistique univariée où un certain nombre d'indicateurs (moyenne, mode, fréquence, ...) sont fournis variable par variable, à savoir : dégâts moyens à la parcelle, par essence, etc. ; classe de hauteurs la plus touchée ; surface terrière des arbres touchés par parcelle ; quantité ou volume des arbres couchés ou cassés exprimés en m³ ou en années de récoltes, etc. L'objectif est souvent de fournir aux gestionnaires des indicateurs pour évaluer les dégâts au massif et se situer par rapport à la moyenne du groupement forestier, du département, etc.

En dehors de ces comparaisons, l'analyse univariée ne permet pas de distinguer les variables qui jouent un rôle prépondérant dans la compréhension des dégâts, ni dans leur explication. Il faut pour cela, recourir au moins aux traitements bivariés qui permettent de dégager des comportements associés, voire concordants. Il a donc été recherché, parmi les nombreuses variables caractéristiques des peuplements celles qui paraissaient le mieux corrélées aux dégâts. Dans la mesure où la plupart des sites étudiés possèdent une grande homogénéité de relief et de composition pédologique, on peut considérer que ce sont les caractéristiques intrinsèques du peuplement qui sont à mettre en relation avec les dégâts constatés.

Des traitements multivariés ont été entrepris pour réaliser des typologies sur les variables enquêtées. Pour cela des classifications ont été réalisées sur les facteurs issus d'analyses en composantes principales (ACP), pour le massif de Conches-Breteuil et celle du secteur de Bourron-Marlotte à Fontainebleau ; d'une analyse des correspondances multiples (ACM), pour la forêt d'Armainvilliers. Ce sont des classifications ascendantes hiérarchiques par la méthode de Ward (perte d'inertie minimum, Nakache 2000, p.10). Classiquement, elles permettent de regrouper les individus, ici les placettes échantillon, dans une typologie qui fait ressortir des paramètres sylvicoles et dendrométriques significatifs, et des caractéristiques liées aux dégâts. On peut donc espérer, dans le meilleur des cas, voir apparaître des classes où voisinent dégâts et modes de gestion ou dégâts et traitements. En fonction du paramétrage du logiciel (ici SPAD5), plusieurs partitions sont proposées. Elles sont ordonnées par perte d'inertie croissante. L'utilisateur retient la partition de son choix, en fonction du nombre de classes souhaitées mais aussi en fonction de la richesse des variables qui émergent, pour qualifier les classes ainsi que sa « tolérance » aux « *outliers* », les classes à un seul individu.

2.1. De la donnée à la carte...

Selon les zones d'études, les traitements statistiques et cartographiques vont de la simple analyse univariée, dont le but est de produire un tableau ou une carte des dégâts pour un massif donné, par traitements sylvicoles, par essence, etc., à des traitements multivariés, portant ou non, sur des données spatialisées.

La cartographie multivariée a pour objectif de visualiser la répartition des typologies et de permettre une première analyse spatiale. Les traitements multivariés (ACP ou ACM puis CAH) conduisent à créer une nouvelle variable pseudo numérique. Elle informe sur la classe d'appartenance de chaque individu de l'échantillon. Cette variable est importée dans le SIG pour représenter les résultats de la typologie.

Lorsque le traitement s'applique à des points échantillon, ceux-ci sont dotés d'une surface suffisante et identique pour représenter cette information de type qualitatif (*cf.* figure 2). Entre chaque point, il est possible de mettre un "fond". Cependant, celui-ci doit apporter un réel complément informatif pour ne pas nuire à l'information cartographiée prioritairement.

La représentation de la typologie, en implantation surfacique (*cf.* figure 1), ne permet pas ces raffinements. Elle permet tout au plus de la resituer dans un environnement plus général contenu dans une base de données de type fond topographique ou autre (ce qui n'est pas le cas ici). Cela permet, le cas échéant, d'apprécier l'agencement et la répartition des

classes de la typologie à l'intérieur d'un massif plus vaste mais également par rapport à un contexte de trouées forestières ou de contacts avec d'autres milieux, agricoles ou autres, favorisant l'impact des vents.

2.2. Du semis de point à la région...

Les données satellitales sont utilisées, dans ce travail, pour extrapoler (*régionaliser*) l'information des points de sondage à l'ensemble des forêts incluses dans chaque zone d'étude. Deux zones d'étude étaient concernées, le secteur de Bourron-Marlotte, présenté ici (*cf.* figure 3), et celui de la forêt de Conches-Breteuil.

Des traitements multivariés ont été pratiqués pour constituer les typologies des paysages forestiers post tempête. Ils portent, d'une part, sur les variables collectées lors de l'enquête de terrain et, d'autre part, sur les enregistrements satellitaires. La première série de traitements ne concerne que les variables collectées sur le terrain. Elle sert à établir la typologie *au droit* des placettes échantillon. Elle ne permet pas de cartographier l'espace entre ces points. Cette première typologie est la typologie « optimale ». La deuxième série de traitements a pour objectif de caractériser les variables « radiométriques » à l'aide des variables collectées sur le terrain. Elle sert à établir la typologie *entre* les placettes échantillon. Enfin, la dernière série de traitements est une classification supervisée des données satellitales. Elle permet d'établir la carte de l'impact tempétueux sur la zone d'étude.

Des données issues du capteur ETM+ de Landsat7 ont été analysées. C'est le résultat de leur traitement qui est présenté ici (*cf.* figure 3). Elles ont été fournies par l'Institut français de l'environnement (IFEN) par le biais d'un accord de valorisation des données acquises dans le cadre du programme Corine Land Cover 2000. Le détail des traitements et résultats a fait l'objet d'un article (Godard, à paraître).

3.1. La forêt d'Armainvilliers

Les données d'origine sont moins nombreuses que pour Conches-Breteuil ou pour Fontainebleau (respectivement 14, 40 et 19 variables). Cependant, dans la mesure où, le tableau d'information a été traité en tableau disjonctif complet (chaque modalité est codée en présence absence, 0 ou 1), l'éclatement de ce tableau produit 24 modalités. Des ACM (analyses des correspondances multiples) puis des CAH (classifications ascendantes hiérarchiques) leur ont été appliquées. C'est une partition en 10 classes (*cf.* figure 1) qui a été

retenue sur les trois proposées, celles en trois et six classes ne laissant plus apparaître comme significatives les variables relatives aux dégâts ! Il est possible avec les logiciels d'analyse multivariée (ici SPAD 5) de ne sélectionner que les variables descriptives significatives en fonction d'une prise de risque connue, usuellement 5 p.100 et d'un degré de liberté (fonctions du nombre d'individus et de variables). Nous avons 113 parcelles ou sous parcelles.

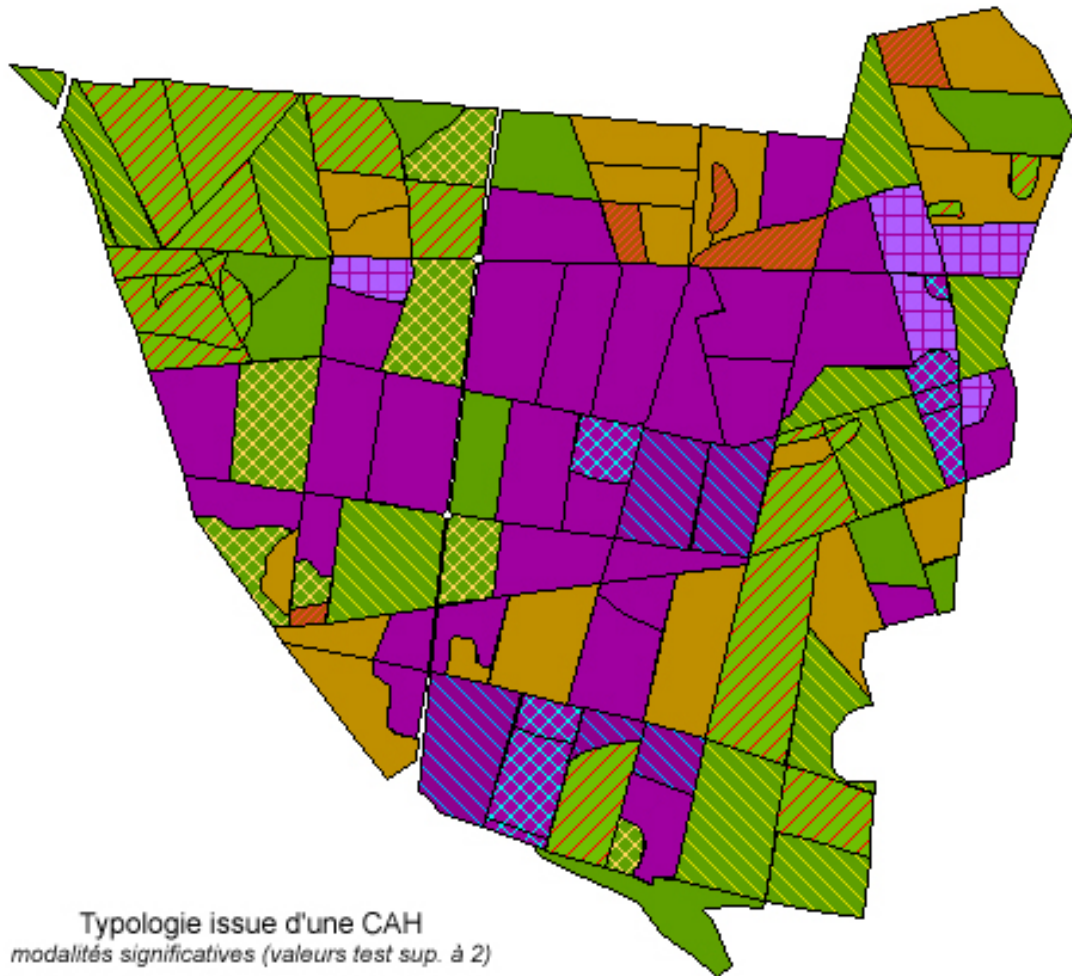
De cette analyse, il ressort qu'en terme de traitements sylvicoles, les futaies ont été peu touchées contrairement aux taillis sous futaie mais surtout aux taillis. Ceux-ci ont été particulièrement affectés par la tempête de 1999 car ils avaient souvent plus d'une rotation (stades balivables ou recépables, voire, vieux ou épuisés). Ce sont eux qui ont été significativement touchés. Logiquement, le chêne a peu souffert de cet épisode tempétueux, alors que les autres feuillus (probablement des essences d'accompagnement) et les résineux ont été plus touchés. Enfin, ce sont les peuplements bas (- de 15 m) qui ont le plus souffert, nettement avant les plus de 20 m. Ceci est un corollaire des dégâts sur le taillis.

3.2. Le massif forestier de Conches- Breteuil

C'est une typologie en cinq classes qui a été retenue à l'issue des traitements multivariés sur les données de Conches-Breteuil. Cette typologie a été importée dans la base de données constituée par Gwenaëlle GUIOT sous le SIG Geoconcept. Le résultat est présenté sur la figure 2. Le support de la partition en cinq classes est la placette (implantation ponctuelle). Le fond de carte représente la révision du plan d'aménagement, pour la période 1987-2001, pour les Hospices civils de Lyon (partie nord) et le plan simple de gestion pour le Groupement forestier de Souvilly (partie sud), pour la période 1977-2001. Ils sont illustratifs et peuvent ne plus être en parfaite adéquation avec la réalité lors de la tempête, si tant est qu'ils l'aient été en tout points.

La typologie fait ressortir une première classe de feuillus « nobles » et adulte peu ou pas touchés ; une deuxième classe où la futaie de feuillus est traitée en taillis sous futaie et où c'est le taillis qui est atteint et particulièrement les « bois blancs » ; une troisième regroupant des placettes caractéristiques d'une futaie de feuillus traitée en taillis sous futaie où les chênes et les charmes sont cette fois ci atteint sur les petits mais également sur les très gros diamètres. La quatrième et la cinquième classe concernent les résineux. La quatrième regroupe les volis et chablis des arbres de plus de 15 m et les gros diamètres essentiellement du pin et du douglas. La cinquième concerne les épicéas et la casse sur les moyennes sections.

Figure 1 – Paysages forestiers après la tempête de 1999 – Forêt d’Armainvilliers (S.-et-M.)



Typologie issue d'une CAH
modalités significatives (valeurs test sup. à 2)

- | | | |
|--|----|---|
| | 10 | Futaie de chenes en perchis de 16 à 20 m ayant été faiblement éclaircie et comportant pas ou peu de dégats |
| | 9 | Futaie jeune avec des résineux en essence secondaire |
| | 8 | Futaie adulte de résineux à canopée irrégulière |
| | 7 | Futaie au stade de la jeune plantation de moins de 10 m |
| | 6 | TsF avec futaie agée de chenes et d'autres feuillus de 21 à 25 m et taillis jeune |
| | 5 | Dégats important sur le TsF avec :
- Futaie agée, de 21 à 25 m, de feuillus ormis le chene ;
- Taillis balivable ou recépage. |
| | 4 | Futaie adulte (d'un taillis sous futaie), arbres de 21 à 25 m |
| | 3 | Taillis sous futaie avec taillis vieux ou épuisé, arbres de 21 à 25 m |
| | 2 | Taillis simple de 10 à 15 m, balivable et recépage, de feuillus ormis le chene |
| | 1 | Gros dégats sur le taillis simple, balivable et recépage, arbres de 10 à 15 m |

Parcellaire ONF et sous parcelles

Echelle d'édition : 1 / 40 000

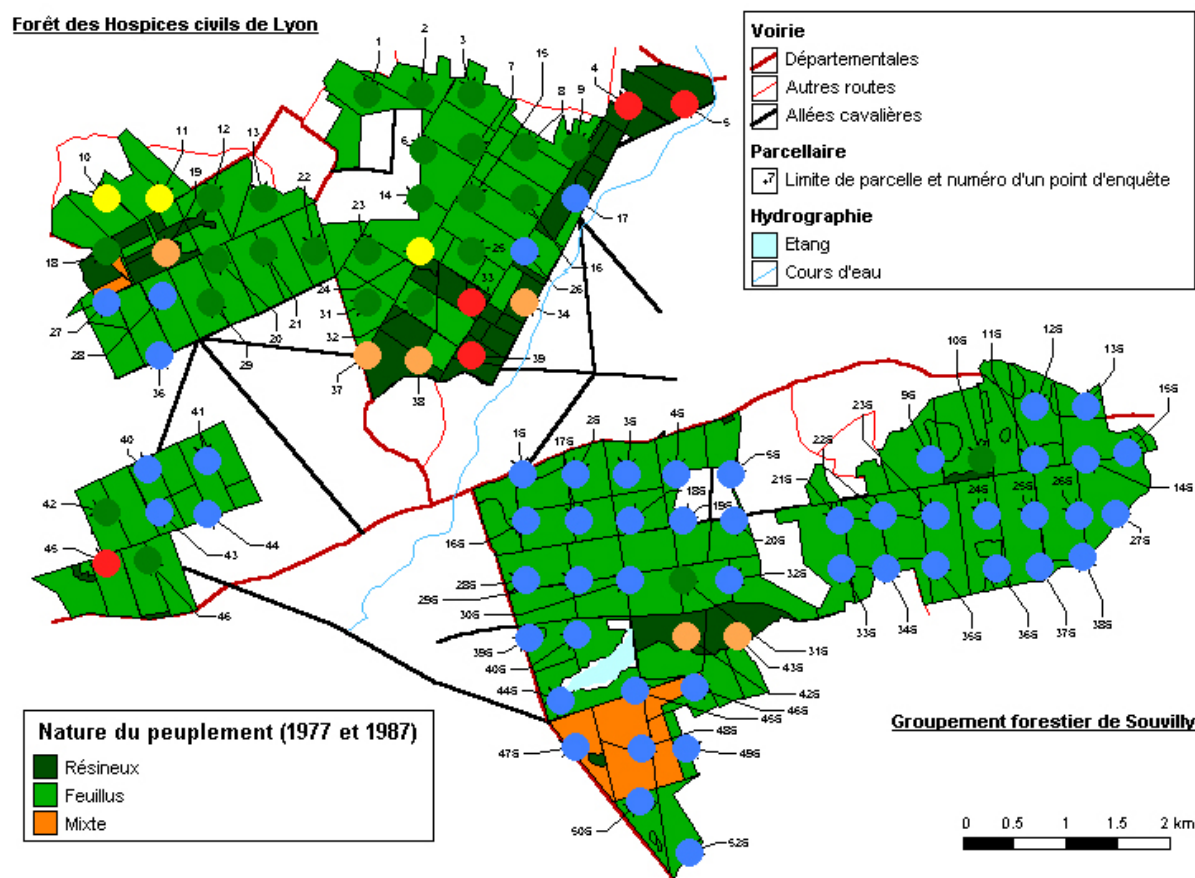
0 0.5 1 km

Réalisation : vgodard@univ-paris8.fr (2005)

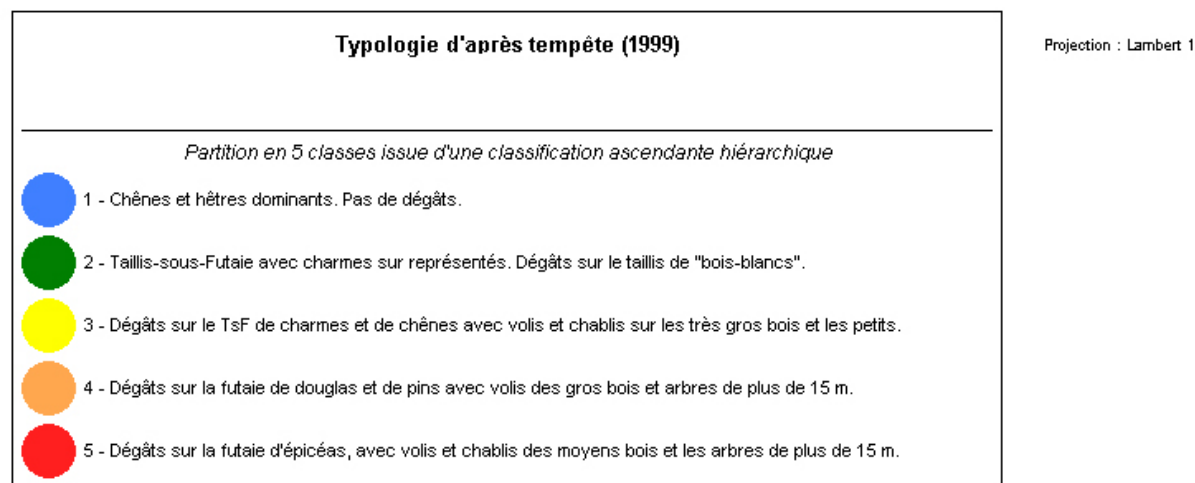
Projection Lambert 1

Sources : G. JAUBERT 2001, Groupe tech. ONF Gretz-Armainvilliers 2001 et IGN 2414ET 1998

Figure 2 – Paysages forestiers après la tempête de 1999 – Forêt de Conches-Breteuil (Eure)



Echelle d'édition : 1 / 60 000



Sources : enquête et conception du SIG G. GUIOT 2001, carte IGN 19140

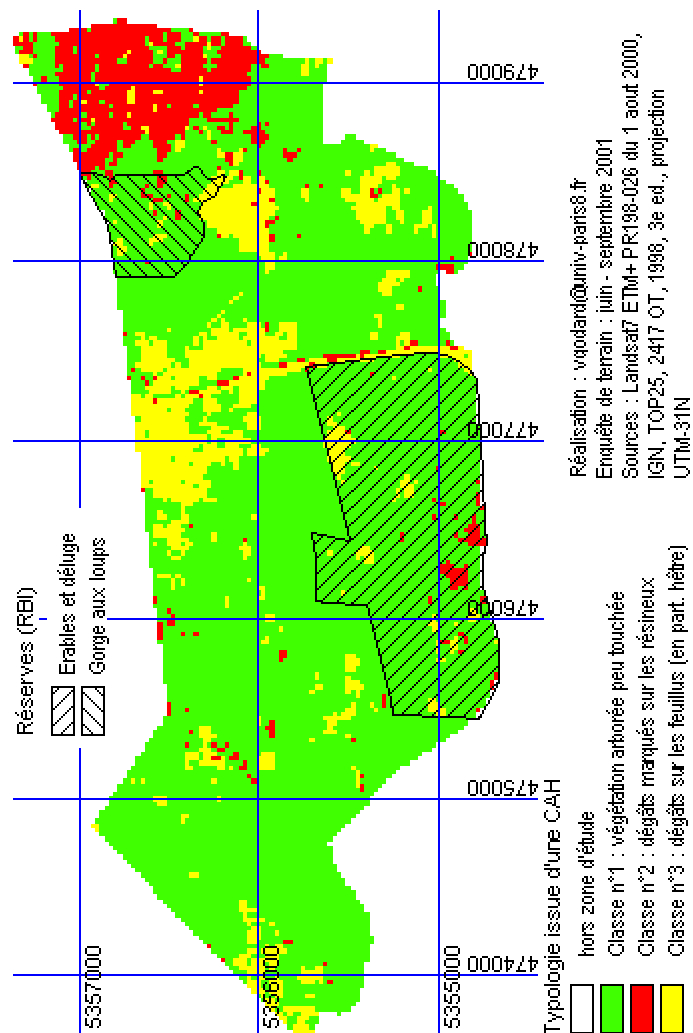
Réalisation : vgodard@univ-paris8.fr (2003)

plan d'aménagement de 1987 pour les Hospices, PSG de 1977 pour le GF de Souvilly

Une répartition spatiale assez marquée caractérise cette typologie. La classe n°1 est majoritaire sur le GF de Souvilly, alors que la classe n°2 l'est sur les Hospices. Les classes

n°3, 4 et 5 sont globalement caractéristiques des Hospices. Une certaine contiguïté apparaît même, semblant souligner la nature du peuplement comme indiqué sur la figure 2.

Figure 3 – Paysages forestiers après la tempête de 1999 – Forêt de Fontainebleau, secteur de Bourron-Marlotte (S.-et-M.)



D'une manière générale, pour les secteurs des Hospices civils de Lyon et du Groupement forestier de Souvilly, l'enquête de terrain permet de confirmer certains faits ou affirmations constatés en d'autres lieux, à savoir : c'est ici encore les arbres de plus de 15 m qui sont l'objet de la part significative des dégâts, qu'il n'a pas été possible de déterminer si, globalement, une classe de diamètres a été plus atteinte qu'une autre et que là également ce sont les épicéas et les douglas qui payent le plus lourd tribut à la tempête. Globalement, les Hospices civils de Lyon et le Groupement forestier de Souvilly ne sont pas touchés avec la même intensité. Ce dernier semble avoir été moins vulnérable, sans que les variables collectées ne permettent d'expliquer pourquoi.

Enfin, si l'on analyse les relations bivariées (Amat *et al.*, 2003, pp.43-56) de l'ensemble des informations collectées (et pas uniquement sur les classes de la typologie), il ressort trois combinaisons significatives, à savoir : une relation forte entre les dégâts sur les pins et volis de gros bois, les dégâts sur les épicéas et volis de moyens bois et les dégâts sur les charmes et chablis de petits bois.

3.3. Le secteur de Bourron-Marlotte en forêt de Fontainebleau

La plupart des cartes de dégâts, qui ont été réalisées à l'issue des tempêtes de 1999, présentent une légende en quatre ou cinq classes allant de : aucun dégâts (0 à 10 p.100) à peuplement détruit (90 p.100 et plus), par exemple (IAURIF, 2000¹, Jaubert, 2001, *in* Amat *et al.*, 2003, p. 33, Stach *et al.*, 2002). L'objectif de cette étude était plutôt de réaliser une légende synthétique qui, au lieu de présenter une échelle d'intensité de l'impact, propose des associations de variables.

La figure 3 montre que les classes contenant des dégâts significatifs occupent une surface restreinte et sont très localisés. À l'exception de quelques taches, elles touchent peu les réserves (RBI). Les plages les plus notables, par leur extension, sont concentrées dans la forêt gérée par l'ONF. L'analyse des statistiques collectées sur la carte confirme cette répartition. La classe 1 (strate arborescente peu touchée, mais avec des dégâts diffus) est partout largement majoritaire. La classe 2 (dégâts sur les résineux) n'est que de 3,5 p.100 dans les RBI, alors qu'elle représente presque 10 p.100 de la surface de la forêt gérée par l'ONF. Enfin, la classe 3 (dégâts sur les feuillus), à peine plus importante, prend, encore une fois, une part plus nette en forêt gérée que dans les réserves.

À la suite de l'analyse de la cartographie obtenue, et de la typologie qui sous tend sa légende, un manque relatif de richesse des résultats apparaît. Au moins trois éléments d'analyse contribuent à expliquer ce résultat : le plan d'échantillonnage, la résolution du capteur, la date de prise de vue (Godard, à paraître). Seules 35 placettes ont été enquêtées à Bourron-Marlotte, c'est un peu juste au regard de certains thèmes de faible extension qui ont peu de chance d'être inventoriés. De plus, la majorité des dégâts sont qualifiés de diffus car en forêt de Fontainebleau 95,4 p.100 de la superficie porte moins de 10 p.100 d'arbres abattus (IAURIF, 2000, p.4). De ce fait, avec un pixel Landsat de 25 m de côté, les trouées dues à des arbres isolés peuvent ne pas influencer le signal radiométrique ! Enfin, la date de prise de vue

¹ Atlas sur les « Effets de la tempête du 26 décembre 1999 sur les forêts d'Île-de-France » publié à l'échelle du 1/20 000 par l'IAURIF, *in* Anonyme, 2000, p.24

(1^{er} août 2000) est trop précoce pour une bonne discrimination des dégâts (Stach *et al.*, 2002, p.142).

Conclusion

La qualification et la quantification des paysages reposent sur des inventaires de terrain. Il n'y a pas, dans l'absolu, de bonnes ou de mauvaises méthodes pour collecter l'information. En s'appuyant sur trois exemples d'évaluation des dégâts liés aux tempêtes de 1999 sur des écosystèmes forestiers, trois méthodes d'inventaire et d'échantillonnage sont associées à trois rendus cartographiques. Ceux-ci n'avaient pas pour vocation de fournir une estimation des superficies de tel ou tel type d'occupation du sol, mais plutôt de proposer une information visuelle de la répartition spatiale des paysages post tempête. L'évaluation des dégâts a surtout fait l'objet d'estimations statistiques (Godard, soumis).

Remerciements

Que Guillaume Jaubert pour sa contribution, Gérard Vallée pour son accueil et ses conseils, les étudiants de Paris 8 ainsi que tous ceux qui ont collaboré à la collecte des données de terrain : Sultan Aralioglu, Antoine Bouffandeau, Josselin Burhig, Quentin Burhig, Anna Godard, Lisa Godard, Alexandra Grandmoujin, Stéphane Guillez, Kim Dae Young, Mickael John-Pierre, Brice Oyharçabal trouvent ici la marque de mes remerciements.

Bibliographie

- Anonyme. 2000. L'Île-de-France cartographie sa tempête, Géomatique Expert, n°4, mai 2000, p. 20-24.
- Amat J.-P., Godard V., Hotyat M. 2003. Bilan des dégâts : Milieu, gestion, histoire et scénarios de reconstitution dans les sylvosystèmes touchés par les tempêtes de décembre 1999. GIP-ECOFOR, Min. agriculture, 132 p.
- Fournier Ph. 1986. Enquête sur l'utilisation du territoire effectué en 1985 par la méthode des segments. Paris, Ministère de l'agriculture, SCEES, Série S, Col. : Méthodes et Applications Scientifiques n°13, 63 p.
- Godard V. (à paraître). Typologie des paysages forestiers du sud du massif de Fontainebleau après la tempête de décembre 1999. Evaluation des dégâts forestiers à

l'aide d'un semis de points et d'imagerie satellitale optique. *Revue Internationale de Géomatique*, n° spécial : Observation et analyse de la transformation des territoires ruraux en Europe de l'Est et de l'Ouest. Ateliers méthodologiques. 25, 26, 27 avril 2005. Iasi, Roumanie, environ 20 p.

- Godard V. (soumis). Réflexion sur le plan d'échantillonnage appliquée à la quantification des paysages. Exemples d'évaluation des dégâts tempétueux observés dans deux forêts françaises (Conches-Breteuil, Eure, et Fontainebleau, Seine-et-Marne). *L'information géographique*, environ 19p.
- Guiot G. 2001. Analyse de l'impact de la tempête de décembre 1999 à l'aide d'un SIG sur deux forêts du département de l'Eure en Haute Normandie, la forêt des Hospices civils de Lyon et le Groupement forestier de Souvilly. Université Paris VIII, mémoire de maîtrise de géographie, 154 p.
- IAURIF. 2000. Cartographier la tempête. 2 - La tempête en chiffres, Note rapide sur l'environnement, n°25, mai 2000, p. 1-6.
- IFN. 1985. But et méthodes de l'inventaire forestier national. Paris, Ministère de l'agriculture, Service des forêts. 67 p.
- IGN. 1981. 1914O, La-Neuve-Lyre, Carte au 1/25 000
- Jaubert G. 2001. La tempête du 26 décembre 1999 : effet sur les peuplements forestiers et sur la gestion sylvicole. Application au Groupe technique de Gretz-Armainvilliers, Créteil, Université Paris XII, mémoire de Maîtrise, 163 p. (+ annexes).
- Lallement B. 2002. L'apport de l'analyse spatiale dans la compréhension des dégâts forestiers causés par la tempête de 1999. Etude du groupement forestier de Conches-Breteuil (Eure), Paris, Université Paris I, mémoire de Maîtrise de géographie, 79p.
- Nakache J.-P., Confais F. 2000. Méthodes de classification. Avec illustrations SPAD et SAS, Montreuil, CISIA CERESTA, 192 p.
- ONF. 2001a. Forêt domaniale d'Armainvilliers, Carte des sols, éch. graph. : 1/30 000
- ONF. 2001b. Forêt domaniale d'Armainvilliers, Carte des peuplements, éch. graph. : 1/30 000
- ONF. 2001c. Forêt domaniale d'Armainvilliers, Carte des aménagements, éch. graph. : 1/30 000
- Stach N., Deshayes M., Le Toan T. 2002. Evaluation des dégâts de tempête par télédétection satellitale : Aspects méthodologiques et opérationnels – 1ère phase, GIP-ECOFOR, Min. agriculture, 148 p. + annexes.