



ANNEXE III

SYNTHESE DE L'EVALUATION PAR TELEDETECTION DES DEGATS FORESTIERS CAUSES PAR LES TEMPETES DE DECEMBRE 1999

Synthèse de l'évaluation par télédétection des dégâts forestiers causés par les tempêtes de décembre 1999

Bien que sortant du cadre de la thèse, les travaux effectués suite au passage des tempêtes de fin 1999 se sont avérés extrêmement intéressants, non pas en terme de résultats mais d'enseignements sur ce que peut apporter la télédétection aux forestiers. Les communautés de la télédétection et de la forêt se sont en effet trouvées en contact direct à l'occasion des quatre semaines de travaux. Cette collaboration quoique enrichissante, a cependant montré le fossé existant entre ce que propose la télédétection (optique/infrarouge et radar) par satellite et ce que demande les utilisateurs de la forêts, notamment les gestionnaires. Un résumé est ici proposé.

1. Introduction

La fin d'année 1999 a été marquée par deux tempêtes exceptionnelles qui ont successivement ravagé le nord puis le sud-ouest de la France. Une bonne moitié du territoire a été exposée à des vents de plus de 120 km/h, atteignant localement 200 km/h. Les estimations globales rapportent qu'environ trois cents millions d'arbres ont été mis à terre, soit plus de 100 millions de m³ de bois.

Le Laboratoire Commun de Télédétection et l'Institut Forestier National ont été contactés par le ministère de l'Agriculture et de la Forêt pour réaliser une première évaluation des dégâts de la tempête. L'objectif était de cartographier les dommages occasionnés sur l'ensemble des régions touchées (approximativement la moitié du territoire français) avant la mi Avril 2000, soit moins de quatre mois après.

2. Déroulement des travaux

Lors d'une première réunion, le 5 Janvier 2000, il a été décidé de répartir les travaux entre trois filières : 1) analyse de photos aériennes haute résolution (1:20000 et

supérieur); 2) interprétation et traitement d'images satellites optiques/infrarouges (SPOT/LANDSAT TM); 3) interprétation et traitement d'images radars ERS.

Une première typologie de classification des dégâts a été proposée par l'IFN qui prévoyait une classification des dommages en 5 catégories d'intensités (<10%,10-33%,33-66%,66-90,>90%), ainsi qu'une distinction dans la nature des dégâts afin de discriminer les chablis (arbres renversés) et volis (arbres cassés à mi-hauteur). Toutefois il s'est rapidement avéré qu'une typologie beaucoup simple serait plus raisonnable, notamment dû à la forte proportion de chablis par rapports aux volis et à la difficulté de discriminer les faibles classes de dégâts (<10%,10-66%,>66%).

Afin d'estimer la précision des différentes méthodes, l'IFN a proposé d'effectuer la validation des différentes techniques à partir d'un jeu de photos aériennes haute résolution (1 :5000) acquis après la tempête. Dans le même temps, un autre jeu de photos d'entraînement était distribué aux équipes pour calibrer leurs méthodes. La cellule SIG de l'IFN a ainsi produit à partir des photos aériennes des cartes numériques géoréférencées des dégâts. La figure 1 montre un exemple de telles photos au-dessus de dégâts dans la forêt de Rambouillet. Deux sites test ont été retenus, la forêt de Rambouillet principalement composée de peuplements de feuillus et de futaies de pin sylvestre, et le département de la Corrèze caractérisé par des peuplements fractionnés, très variés en espèces et conditions topographiques (vallées, plateaux, gorges).

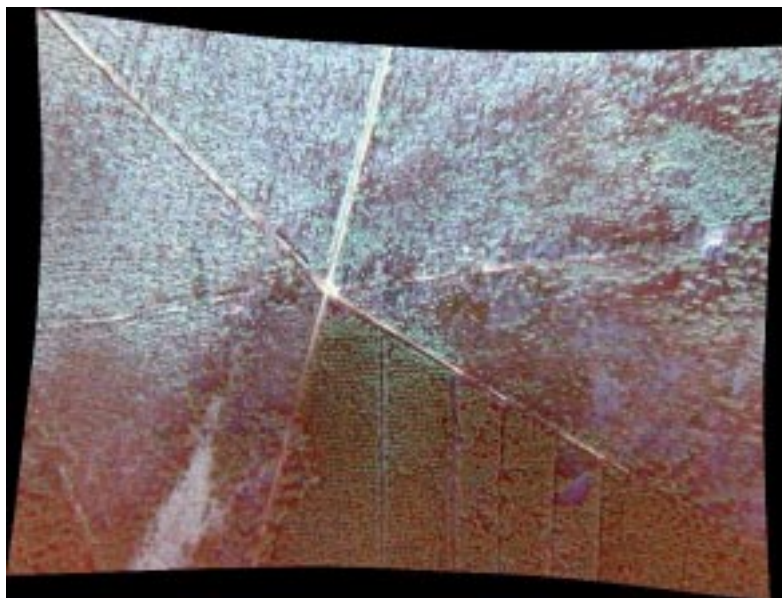


Figure 1 : Photos aériennes (approximativement au 1:5000) au-dessus de dégâts dans des futaies de pins sylvestres dans la Forêt de Rambouillet (photo GEOSYS).

Les méthodologies employées pour les données satellites (optique et radar) ont été basées sur l'analyse d'images acquises avant et après les tempêtes, afin de discerner les changements survenus dans les couverts. La résolution des capteurs spatiaux, de l'ordre de la dizaine de mètres, était trop faible pour pouvoir espérer discerner directement les arbres abattus. Seuls les clichés aériens avec une résolution supérieure au 1:30000 permettaient de discerner les troncs individuels.

La filière radar a utilisé deux méthodes, l'analyse de séries temporelles d'images ERS dirigée par le CESBIO, l'analyse de données interférométriques tandems menée conjointement par Spot Image, le CNES/QTIS, le CESBIO et Gamma Remote Sensing (Suisse). Nous allons détailler brièvement ces deux méthodes.

Analyse multitemporelle :

Cette méthode (Figure 2) est fondée sur l'analyse de la variation de la signature radiométrique des différents types d'occupations du sol. La forêt présente une rétrodiffusion proche de -8 dB avec ERS et très stable (des variations inférieures à 2 dB). Il est donc possible de produire une carte forêt/non-forêt avec plusieurs images avant tempêtes en cartographiant les zones stables. L'utilisation de plusieurs images est nécessaire à cause de la présence de speckle sur les images. Pour diminuer son effet il faut en effet moyenniser plusieurs mesures. Il est possible de faire une moyenne « spatiale » en moyennant les valeurs de plusieurs pixels (éléments images élémentaires) adjacents, ceci au détriment de la résolution spatiale. L'alternative est d'utiliser plusieurs images de la même scène et de moyenniser les contributions de chaque pixel (Quegan et al. 2000), et ainsi de préserver la résolution spatiale. C'est cette dernière méthode qui a été adoptée.

La carte forêt/non-forêt produite grâce aux images avant tempêtes, il « suffit » alors de comparer avec une image post-tempête les changements survenus dans les zones cartographiées en forêts, pour repérer les dégâts. On s'attend à ce qu'une forêt « couchée » voit sa rétrodiffusion augmenter de plus de 2 dB et s'approcher de la valeur des sols nus (figure 3). Différents masques sont nécessaires pour éliminer des cibles stables mais non forestières : les zones urbaines sont ainsi discriminées grâce à leur rétrodiffusion très élevées (> -5 dB), les zones de pâturages sont au contraire repérées par leur rétrodiffusion faible (< -11 dB). L'avantage de cette méthode réside dans le faible nombre d'opérations de l'interpréteur, diminuant ainsi le temps passé sur chaque scène.

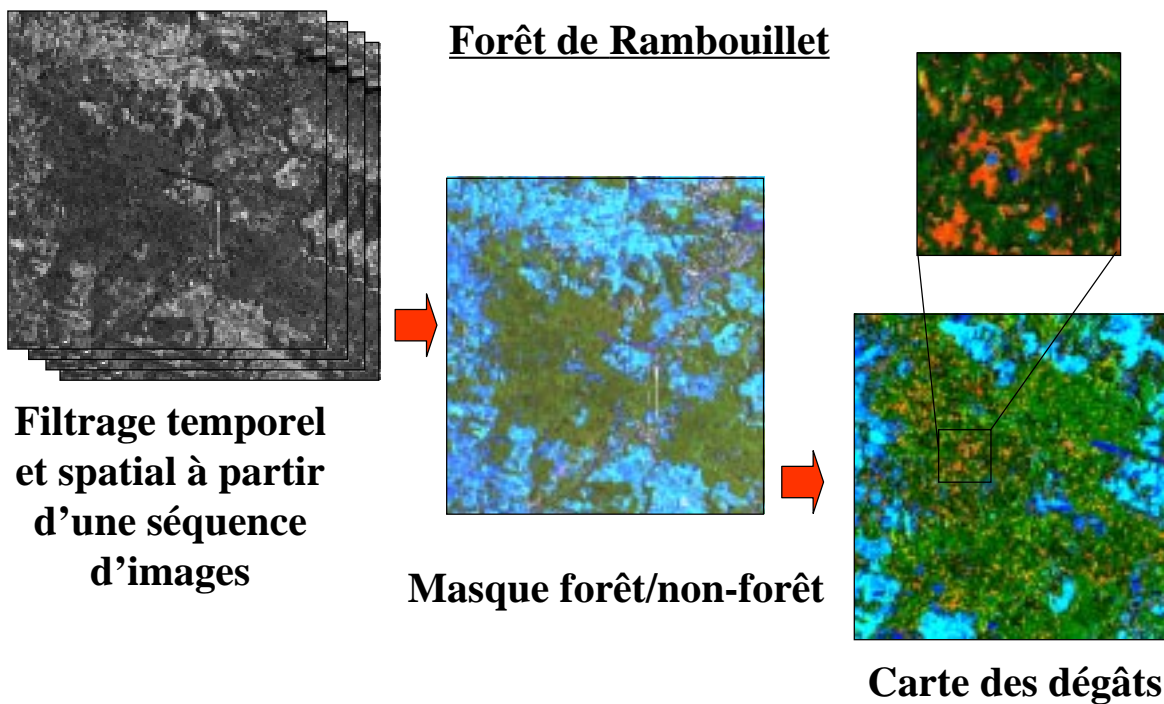


Figure 2 : Schéma simplifié de la méthodologie appliquée pour détecter les dégâts à partir du coefficient de rétrodiffusion radar. Une série d'images est utilisée afin de créer une carte forêt (vert)/ non forêt (bleu). A partir de ce masque et en comparant une image acquise après les tempêtes il est possible de produire une carte des dégâts (rouge).

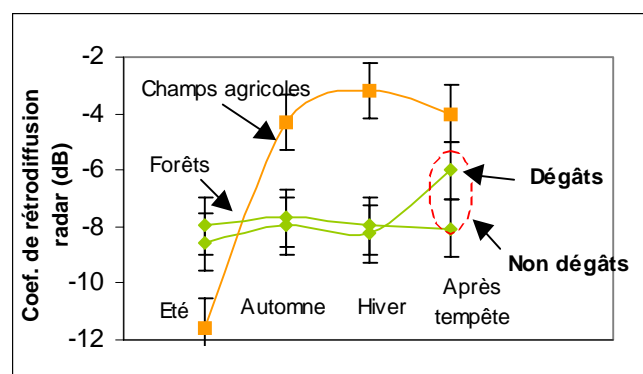


Figure 3 : Principe utilisé pour détecter les dégâts occasionnés par les tempêtes à partir du coefficient de rétrodiffusion radar. Contrairement aux champs cultivés la forêt présente une rétrodiffusion stable. Un chablis aura pour effet de faire varier la signature radiométrique de la forêt.

Analyse des produits de cohérence interférométrique :

Cette méthode nécessite le traitement de deux couples interférométriques acquis avant et après la tempête. Les forêts présentent des cohérences faibles (inférieure à 0.4) en contraste des zones agricoles, de pâturages ou urbaines qui ont des cohérences fortes (0.4 à 0.9). La forêt peut donc être discriminée facilement et avec une bonne précision (généralement supérieure à 90 %). Des chablis occasionnés par les tempêtes auront pour effet de relever la cohérence de la zone perturbée (figure 4). Toute la difficulté réside ici sur la quantification du changement. On l'a vu, la cohérence est en effet une quantité fortement variable temporellement d'un couple interférométrique à l'autre. Il faut donc trouver un seuil de changement assez fort pour s'affranchir de la variabilité naturelle de l'image mais suffisamment sensible pour effectivement détecter les dégâts dues aux tempêtes. La figure 5 présente les deux couples interférométriques utilisés dans cette étude pour le site d'Ussel en Corrèze.

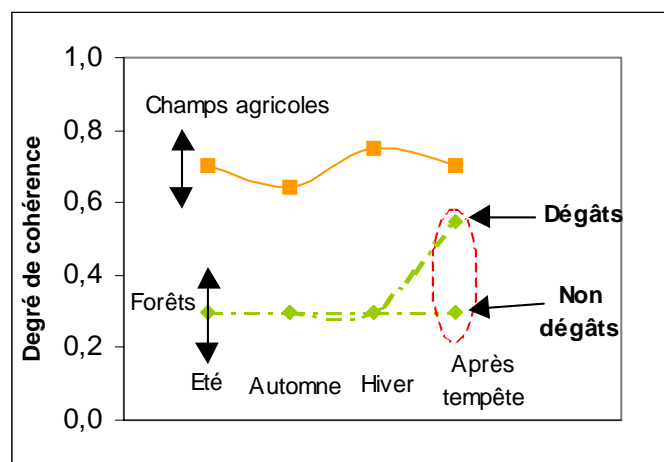
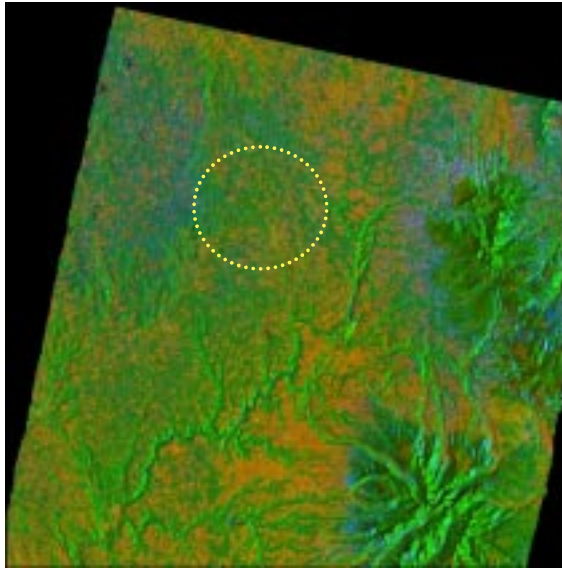
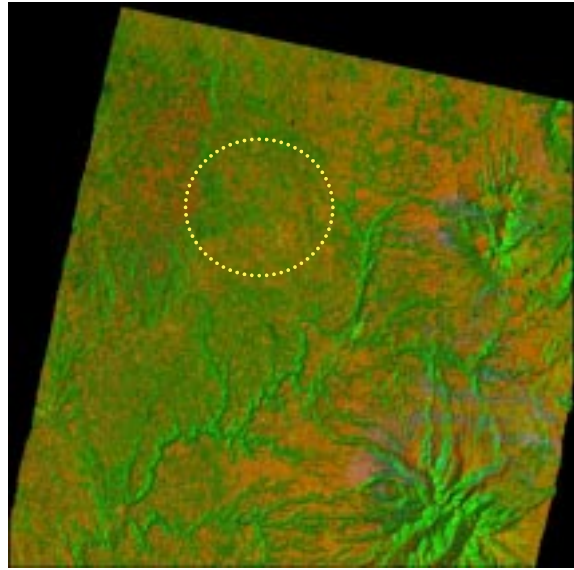


Figure 4 : Principe utilisé pour détecter les dégâts occasionnés par les tempêtes à partir de la cohérence interférométrique. Les forêts présentent des cohérences faibles, contrairement aux champs cultivés. Un chablis aura pour effet de faire remonter la cohérence de la forêt.

Avant tempête (15Dec. 99)



Après tempête (19 Jan. 2000)



Rouge : cohérence Vert : amplitude moyenne Bleu : ratio d'amplitude

Figure 5 : Couples interférométriques acquis avant et après les tempêtes au-dessus du site test d'Ussel (Corrèze). Les zones rougeâtres correspondent à une cohérence forte (sols nus).

En comparant les deux couples on isole les dégâts en détectant les augmentations de cohérence. Image traitée et gracieusement fournie par Gamma Remote Sensing (Suisse) et Spot Image.

Plusieurs problèmes ont été rencontrés par les diverses équipes :

- Difficulté de trouver des images d'archives précédant les événements suffisamment proches des dates de passage des tempêtes afin d'avoir des scènes comparables (feuillus sans feuilles notamment).
- Les scènes acquises après les tempêtes correspondaient aux situations les plus défavorables pour les différents capteurs, à savoir pour les capteurs optiques la présence d'un fort couvert nuageux (plein hiver), un soleil très bas sur l'horizon entraînant la présence de grandes ombres au sein des forêts, neige au sol pouvant cacher la présence d'arbres couchés, arbres sans feuilles qui perturbent l'analyse classique des images optiques/infrarouges. Pour les capteurs radars, bien que les conditions météorologiques n'affectent pas directement les images, certains effets indirects comme la présence de gel ou de neige fraîche affectent fortement la signature radiométrique ainsi que la cohérence interférométrique du milieu et peuvent conduire à des probabilités de fausses alertes élevées.
- Nombres de dégâts ont eu lieu dans des zones topographiques accidentées, ce qui interdit l'utilisation d'images radars (déformations dues aux traitement SAR) et optique (ombres sur les versants exposés nord)

3. Résultats et discussion

L'évaluation des résultats par l'IFN (IFN 2000) est résumée par le tableau 1 qui présente les taux de bonne classification tandis que le tableau 2 présente les taux de fausse détection (fausse alerte). L'interférométrie donne les meilleurs résultats, suivi de l'optique puis du multitemporel. Toutefois, le manque de temps n'a pas permis de valider la technique interférométrique sur le site de Rambouillet. Pour la même raison, la complémentarité des différentes méthodes n'a pu être étudiée.

Site	Optique (SPOT)	Multitemporel (ERS)	Interférométrie (ERS)
Ussel	20 %	1 %	43 %
Rambouillet	23 %	9 %	ND*

*ND : non disponible

Tableau 1 : Résultats globaux de la validation de l'IFN des différentes méthodes satellitaires. Les résultats représentent le taux de bonne classification moyenné sur les chiffres obtenues par classes de dégâts (<10%,10-33%,33-66%,66-90,>90%).

Site	Optique (SPOT)	Multitemporel (ERS)	Interférométrie (ERS)
Ussel	10 %	3 %	3 %
Rambouillet	7 %	10 %	ND*

*ND : non disponible

Tableau 2 : Résultats globaux de la validation de l'IFN des différentes méthodes satellitaires. Les résultats représentent le taux de fausse alerte moyenné sur les chiffres obtenues par classes de dégâts (<10%,10-33%,33-66%,66-90,>90%).

Les faibles résultats de la méthode multitemporelle viennent de plusieurs causes :

- Les dégâts occasionnés par les tempêtes ont provoqués des changements de géométrie du couvert (arbres couchés) mais pas dans le niveau de biomasse : les houppiers des conifères restaient bien visibles même à terre comme le montre la photo aérienne (figure 1). Au-dessus des peuplements matures (les plus fortement touchés), le signal ERS est saturé et il n'est alors pas possible de détecter un changement de géométrie au moyen du coefficient de rétrodiffusion. Au contraire, la sensibilité de cohérence à la géométrie du milieu à des niveaux de biomasse bien plus haut explique les meilleurs résultats de cette méthode.

- Sur le site d'Ussel des effets de gels, dégels et de neige ont eu pour effet de masquer certains chablis quelque soient les deux techniques radars.
- La résolution décamétrique des capteurs spatiaux n'est pas appropriée pour une estimation fine des dégâts. Si au sein d'un pixel 50% des arbres tombent, la signature radiométrique ne changera que faiblement (signal saturé). Il semble donc qu'une cartographie dégât/non-dégât soit la seule possible et que la segmentation des dégâts en plusieurs classes s'avère inabordable.

Les résultats ont été jugés insatisfaisants par la Direction de l'Espace Rural et des Forêts (DERF) qui demandait 75% de bonne classification et au moins 3 classes de dégâts. La DERF s'est finalement tournée vers la solution des photos aériennes, plus précise mais nécessitant beaucoup plus de temps pour couvrir les aires touchées (environ 6 mois). Même si le résultat de cette étude semble être un échec pour la télédétection en général, il est possible de tirer plusieurs conclusions sur les limites et les potentialités des capteurs, ainsi que sur la différence entre ce que peut actuellement fournir la télédétection spatiale et ce que demandent les utilisateurs forestiers :

- La rapidité de l'étude et de la définition des algorithmes les plus appropriés ont été saluées par tous les participants. Cet aspect montre, alors qu'il n'existe pas de chaîne de traitement industrielle, que la communauté des télédétecteurs (essentiellement scientifique) est capable de se mobiliser en un temps très court. La précision des résultats est néanmoins trop faible pour pouvoir être utilisé de manière effective. Toutefois, les analyses effectuées, que l'on pourrait qualifier de « quick and dirty », n'étaient pas sans intérêt. Le premier objectif fixé par la DERF était d'établir une cartographie visant à organiser au mieux le ramassage des troncs avant que les bois ne pourrissent. Une première cartographie des dégâts en deux mois, aurait pu permettre de localiser les zones les plus touchées et ainsi d'organiser les moyens nécessaires à la récupération des troncs abattus de manière efficace. Les dégâts étant éparpillés au sein des forêts, les chemins souvent obstrués et les moyens nécessaires aux récoltes étant lourd (camions, machines), une première information, même entachée d'erreur, avait un intérêt pour coordonner et optimiser les efforts. En ce sens la filière photographie aérienne ne répondait pas plus aux premières demandes de la DERF par le délai nécessaire à la couverture du territoire (6 mois). Dans le même délai, il aurait été possible d'utiliser des acquisitions au printemps et en été avec les satellites, beaucoup plus simple à interpréter. La précision aurait sans doute été significativement meilleure.

- La forêt française est très bien connue grâce au remarquable travail de l'IFN, de l'ONF et des gestionnaires privés. Les résultats obtenus auraient sans doute été jugés satisfaisants dans des pays possédant des inventaires moins précis. En France, les gestionnaires nationaux aussi bien que locaux ont besoin d'une information précise (au moins au 1:25000) alors que les données satellites ne peuvent fournir actuellement que des résultats au 1:50000 au mieux. L'intérêt de la haute résolution, notamment à partir de capteurs aéroportés est ici justifié.
- On a vu que les conditions climatiques avait affecté la qualité des résultats. On pourrait objecter que les catastrophes naturelles (tempêtes, inondations, feu) interviennent rarement dans des conditions idéales (nuages, brumes, conditions climatiques extrêmes). L'étude a ainsi pointer le manque de connaissances dans l'interprétation des milieux forestiers dans des conditions défavorables, en hiver notamment dans les régions tempérées.
- Une meilleure répétitivité des images aurait permis de sélectionner les images les plus favorables, et ainsi d'augmenter la précision des résultats. Il apparaît nécessaire dans le futur de disposer de satellites permettant une plus grande flexibilité d'acquisition en terme de délais entre deux acquisitions successives. Les meilleurs taux de revisite du même site par les satellites radar, depuis l'arrêt d'ERS, est de 35 jours. Ceci est beaucoup trop faible pour faire face à des situations exceptionnelles.

Références bibliographiques

IFN. Inventaire des dégâts des tempêtes de fin décembre 1999. *Rapport d'étude préliminaire*. 2000

Quegan, S., Le Toan, T., Yu, J.J., Ribbes, F., Floury, N.. Multitemporal ERS SAR analysis applied to forest mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(2):741-753, 2000.