

Impact environnementaux et effets induits des tempêtes

-Ravageurs et pathogènes-

Jean-Claude Grégoire

Hervé Jactel



Deux projets financés par le **Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales** dans le cadre du programme forêt, vent et risque du **GIP ECOFOR**

Dynamique spatiale des foyers de scolytes de l'épicéa dans l'est de la France : étude méthodologique

Coordination :
Jean-Claude Grégoire

Université Libre de Bruxelles
Lutte biologique et Ecologie Spatiale
50 Av FD Roosevelt, 1050 Bruxelles

TEM-PEST - Gestion du risque sanitaire en forêt de pin maritime après tempête.

De la parcelle au massif, évaluation et analyse de la répartition spatiale des dégâts de scolytes et de fomes

Coordination :
Hervé Jactel

INRA
Centre de Recherches de Bordeaux
UMR BIOGECO
33611 Pierroton

Laboratoires et partenaires associés au projet

Forêt des Landes de Gascogne

INRA, Centre de Recherches de Bordeaux

Equipe Entomologie forestière & Biodiversité

Hervé Jactel, Jean-Pierre Rossi, Pierre Menassieu, Inge Van Halder, Jean Charles Samalens

Equipe Pathologie forestière

Brigitte Lung

Equipe Fonctionnement des Forêts

Dominique Guyon, Karine Ancrenaz

Equipe Modélisation des grands systèmes – changements d'échelle

Michel Goulard, Patrick Chabrier, Albanie Cagnac

Office National des Forêts

Service Inter-départemental

H. Ayphassorho

GIS Observatoire des Forêts d'Aquitaine

Regroupe: AFOCEL, CEMAGREF, CRPF Aquitaine, DSF, IFN, INRA et ONF.

Massif vosgien

Université Libre de Bruxelles

Lutte biologique et Ecologie spatiale

David Delplace, Marius Gilbert, Frédéric Piel, Jean-Claude Grégoire

Département de la Santé des Forêts

Antenne spécialisée, Nancy

Louis-Michel Nageleisen

Echelon technique interrégional nord-est

Jean Poirot, Jean-Christophe Reuter

Office National des Forêts

Directions territoriales Lorraine et Alsace

D. Adam, D. Becker, D. Birkenstock, C. Coli, C. Ficht, M. Galland, S. Leblond, J.-M. Letz, M. Menard, C. Richter, H. Schmuck, F. Segers, D. Tourette, P. Trithardt.

Objectifs

Objectif 1

Développer et comparer diverses méthodes d'évaluation des dégâts engendrés par les insectes ravageurs (les scolytes *Ips sexdentatus* au sud-ouest et *Ips typographus* au nord-est) et champignons pathogènes au sud-ouest (le fomes, *Heterobasidion annosum*).

Objectif 2

Evaluer à quelle échelle spatiale et selon quelles modalités se développent les épidémies consécutives aux dégâts de tempête et en rechercher les mécanismes.

Zones d'étude - Forêt des Landes de Gascogne

Site pilote : **forêt domaniale du Lagnereau** (départements des Landes et de la Gironde).

Environ 1.500 ha; 51 parcelles de pin maritime de ~30 ha; de 0 à 54 ans.

0 à 80% de chablis par parcelle en décembre 1999. Chablis exploités à partir de novembre 2000. Nettoyage en 2001 et 2002



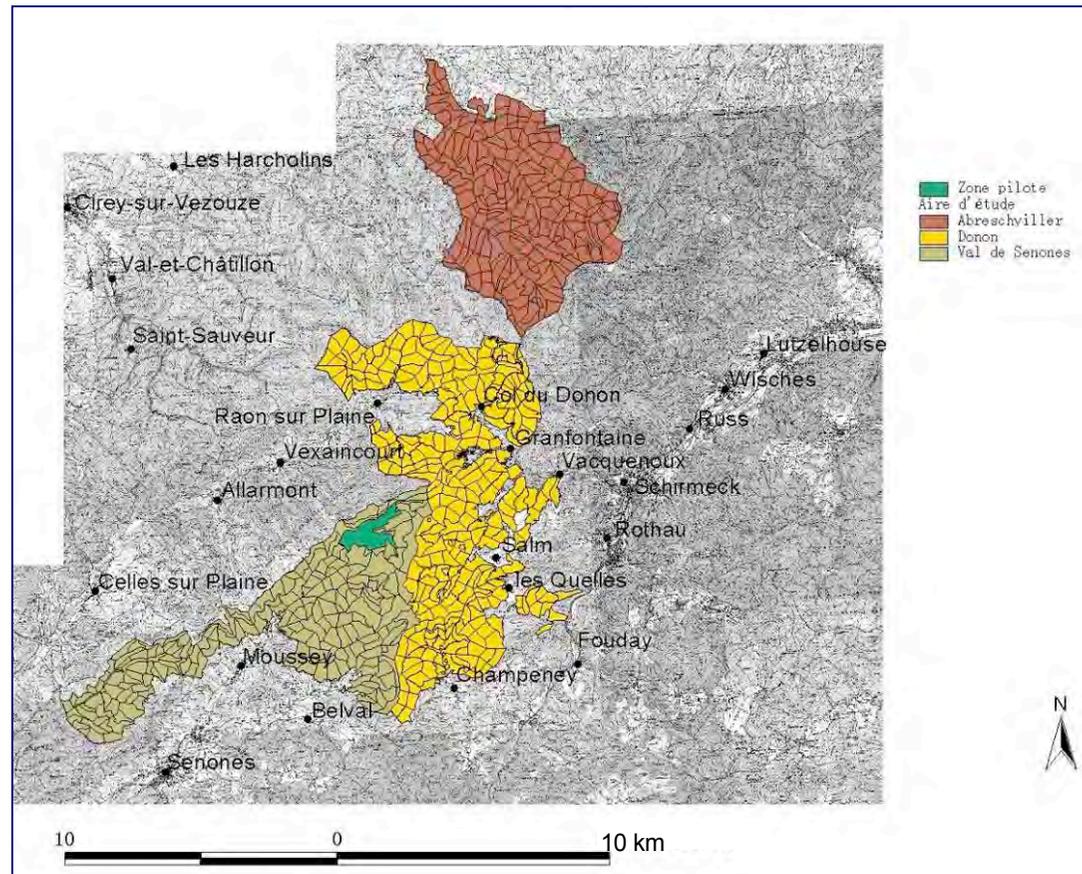
image SPOT4 du 21 avril 2002

Zones d'étude – Massif des Vosges

Sites pilotes : **forêts domaniales d'Abreschviller, du Donon et du Val de Senones** (départements de la Moselle, du Bas-Rhin, des Vosges).

Environ 10.000 ha : principalement épicéa, sapin pectiné et hêtre. Fortement touchée par les tempêtes de 1999. Actuellement, fortes attaques de scolytes de l'épicéa (*Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus*).

Une **zone d'étude intensive** de 150 ha est définie en fd du Val de Senones.



Méthodes

- La base de référence des deux études a été un **inventaire exhaustif au sol**.
- Dans le sud-ouest, la **photographie aérienne au 1/5.000^e** a également permis une caractérisation précise de la situation réelle.
- Des **simulations diverses** de prospection au sol ont été tentées de part et d'autre.
- Dans les deux études, on a également tenté le **sketch-mapping à bord d'un ULM**.
- Des approches plus spécifiques ont été effectuées dans chaque zone : **imagerie satellitaire et vols en hélicoptère** dans le nord-est, **échantillonnages systématique** de placettes de 1000m² sur photo aérienne dans le sud-ouest.

ULB	INRA
Inventaire exhaustif mené au sol	
Photographie aérienne infrarouge (échelle 1/10.000 dans les Vosges, 1/5.000 dans le sud-ouest)	
Survol en ULM avec notation des dégâts sur carte (sketch-mapping)	
Survol en hélicoptère avec repérage G PS et notation des dégâts	
Imagerie satellitaire à haute résolution spatiale (SPOT)	
Imagerie satellitaire à ultra-haute résolution spatiale (Quickbird)	
	Interprétation exhaustive de photos aériennes infrarouge (échelle 1/5000)
Modèle de visibilité et simulation de diverses modalités de repérage au sol par cheminements en voiture et à pied: <ol style="list-style-type: none"> le long des routes; le long des routes et chemins carrossables; le long des courbes de niveau (20, 40, 80 m); transects (50, 100, 200 m); trajets conditionnels à partir des routes et chemins carrossables; trajets le long des foyers 	Simulation de cheminement linéaire à partir des photos aériennes sur les 10 premiers mètres des parcelles
Test sur le terrain de différents types de relevés au sol: <ol style="list-style-type: none"> Parcours le long des routes et chemins carrossables Parcours le long des routes et chemins carrossables + trajets conditionnels Parcours le long des routes et des pourtours des foyers de l'année précédente 	Cheminement linéaire en voiture avec notation de tous les arbres dépérissants ou morts visibles à partir des pistes
	Echantillonnage systématique de placettes de 1000m ² sur les photos aériennes (1 placette par hectare et 1 placette par 4 hectares)
	Réseau de 100 + 27 placettes "post-tempête"

Méthodes - INRA

1. Inventaire exhaustif mené au sol
2. Photographie aérienne infrarouge (échelle 1/5.000)
3. Survol en ULM avec notation des dégâts sur carte (sketch-mapping)
4. Interprétation exhaustive de photos aériennes infrarouge (échelle 1/5000)
5. Simulation de cheminement linéaire à partir des photos aériennes sur les 10 premiers mètres des parcelles
6. Cheminement linéaire en voiture avec notation de tous les arbres dépérissants ou morts visibles à partir des pistes
7. Echantillonnage systématique de placettes de 1000m₂ sur les photos aériennes (1 placette par hectare et 1 placette par 4 hectares)
8. Réseau de 100 + 27 placettes "post-tempête« , de 1000 m₂ (20 à 270 arbres). In fine surtout utilisées pour préciser le risque phytosanitaire lié au fomes dans les parcelles sinistrées par la tempête

Méthodes - ULB

1. Inventaire exhaustif mené au sol
2. Photographie aérienne infrarouge (échelle 1/10.000)
3. Survol en ULM avec notation des dégâts sur carte (sketch-mapping)
4. Survol en hélicoptère avec repérage GPS et notation des dégâts
5. Imagerie satellitaire à haute résolution spatiale (SPOT)
6. Imagerie satellitaire à ultra-haute résolution spatiale (Quickbird)
7. Modèle de visibilité et simulation de diverses modalités de repérage au sol par cheminements en voiture et à pied:
 - a) le long des routes;
 - b) le long des routes carrossables et chemins forestiers;
 - c) le long des courbes de niveau (20, 40, 80 m);
 - d) transects (50, 100, 200 m);
 - e) trajets conditionnels à partir des routes carrossables et chemins forestiers;
 - f) trajets le long des foyers
8. Test sur le terrain de différents types de relevés au sol:
 - a) Parcours le long des routes carrossables (RC) et chemins forestiers (CF)
 - b) Parcours le long des routes carrossables et chemins forestiers + trajets conditionnels
 - c) Parcours le long des routes carrossables et des pourtours des foyers de l'année précédente

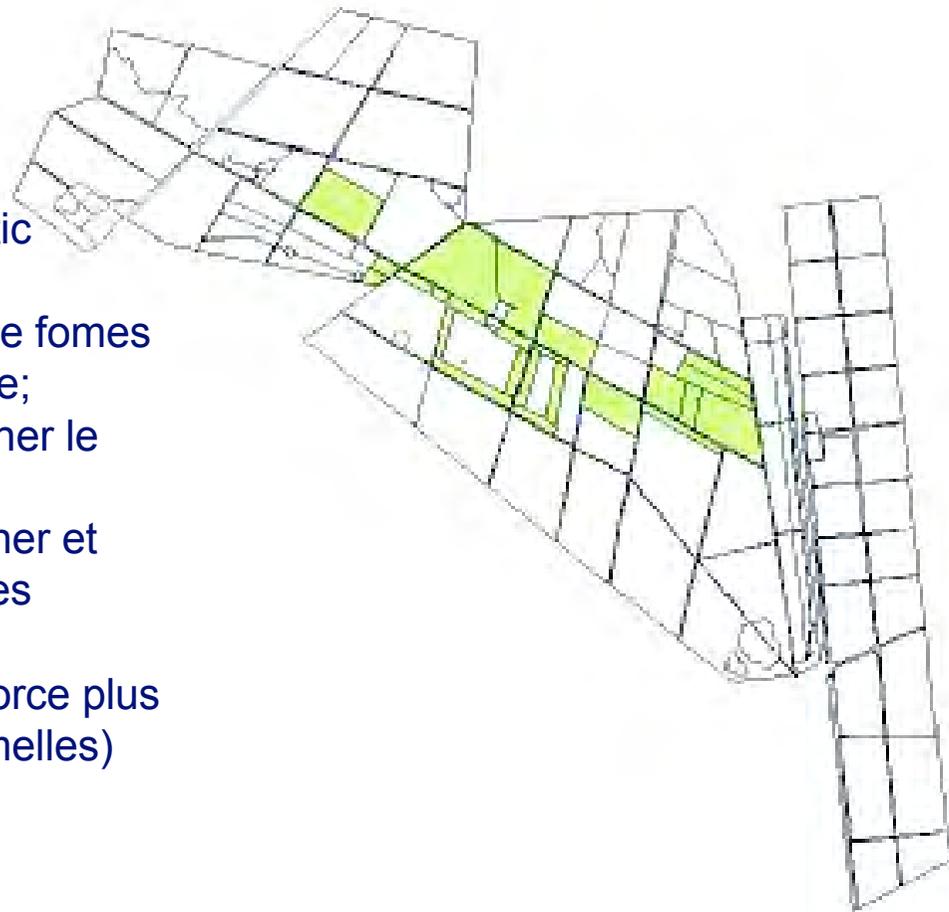
Méthodes - INRA

Inventaire exhaustif mené au sol

Dans une sélection de parcelles ou sous-parcelles le long de la piste centrale qui traverse la fd de Lagnereau l'état sanitaire de tous les arbres a été inventorié entre octobre 2002 et janvier 2003.

Les relevés comprennent :

- La position de l'arbre.
- L'état du houppier.
- L'établissement de la cause primaire de la mortalité par diagnostic systématique:
 - Recherche des carpophores de fomes ou armillaire au collet de l'arbre;
 - Ecorçage au collet pour chercher le mycélium d'armillaire;
 - Ecorçage du tronc pour chercher et identifier des galeries d'insectes (scolytes);
 - Inspection des zones sans écorce plus haut sur le tronc (avec des jumelles) pour identifier les
 - galeries d'insectes.



Méthodes - INRA

Survol en ULM avec notation des dégâts sur carte (sketch-mapping)

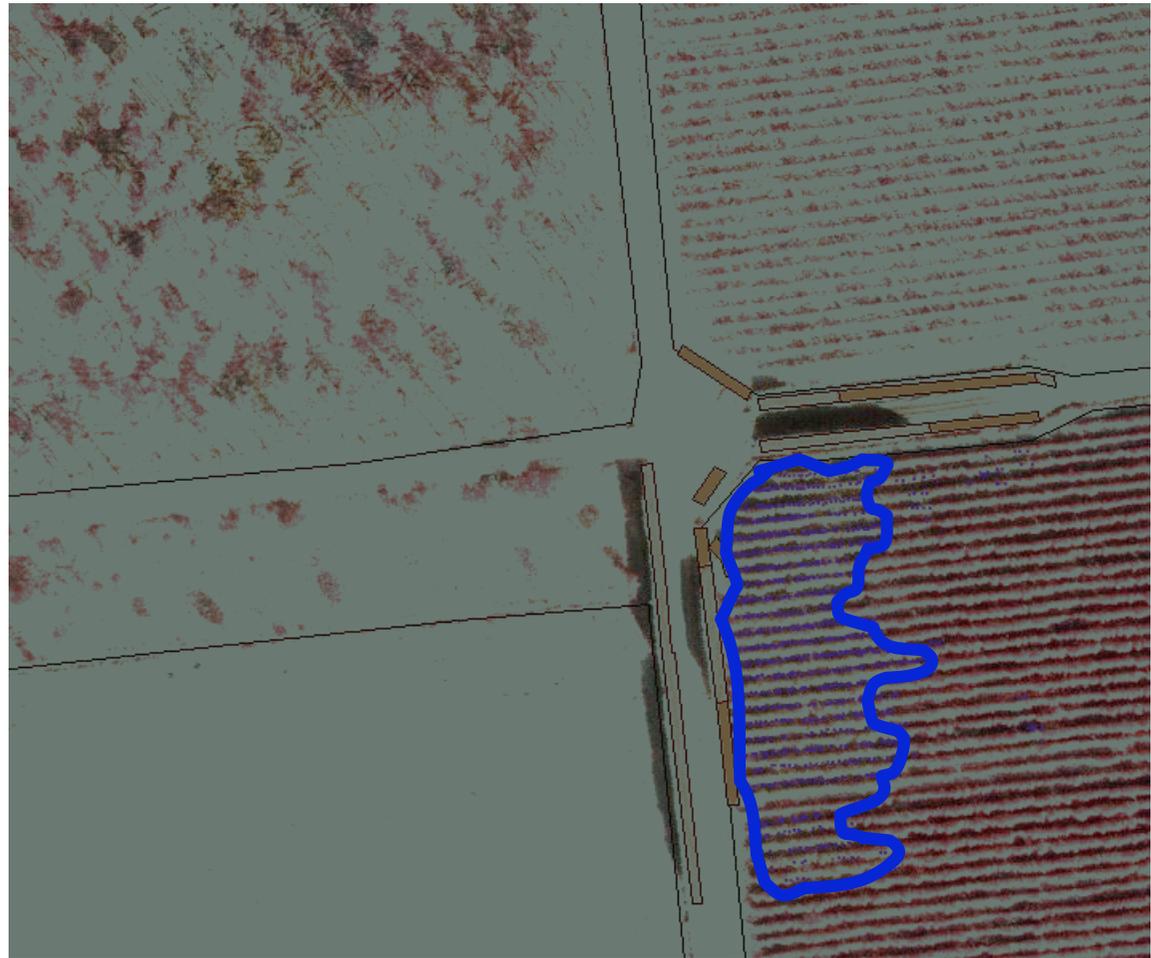
Il a eu lieu en novembre 2002. Les axes de vol étaient espacés de 350 mètres, ils ont été déterminés par la largeur du champ de vision de la caméra vidéo numérique embarquée à bord de l'appareil (175 mètres) et par la nécessité pour l'observateur de regarder d'un seul côté (à droite) pendant toute la durée du survol.

La vitesse moyenne de l'appareil était de 75 à 80 km/h et la durée réelle du vol pour observer les 1500 hectares de la forêt du Lagnereau a été de moins de deux heures.

Méthodes - INRA

Interprétation exhaustive de photos aériennes infrarouge
(échelle 1/5000)

Les vols ont eu lieu en septembre 2001, septembre 2002 et septembre 2003. La mise en place d'une application spécifique sous ArcInfo aura permis de saisir à l'écran tous les arbres atteints pour les années 2001 et 2002 sur l'ensemble de la fd du Lagnereau. Cet inventaire exhaustif à grande échelle servira de base de comparaison pour tester la validité des différentes méthodes d'échantillonnage.



Mortalité de pin maritime à proximité de piles de bois stockées
(photo aérienne infra rouge couleur au 1/10000)

Méthodes - INRA

Cheminement linéaire en voiture avec notation de tous les arbres dépérissants ou morts visibles à partir des pistes

La distance (ou profondeur) maximale (D_{max}) de détection depuis le bord de la parcelle d'un arbre attaqué a été définie en 45 endroits au préalable en fonction de l'âge des parcelles, de leur densité, de l'orientation de l'observateur par rapport au soleil (de face, de dos ou sur le côté) et de l'orientation des lignes d'arbres par rapport à la piste (parallèles, biais, perpendiculaire).

Ainsi, l'équipe dispose d'une D_{max} pour chacun des côtés de la parcelle. Lors du cheminement (à une vitesse maximale de 15km/h) le co-pilote a noté le nombre d'arbre dépérissant (changement de couleur du houppier) et morts (sans aiguilles) dans la parcelle de droite.

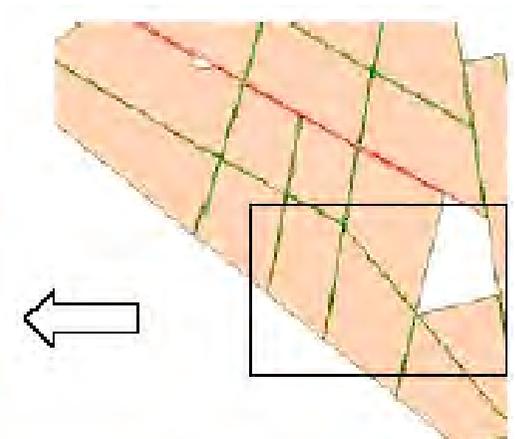
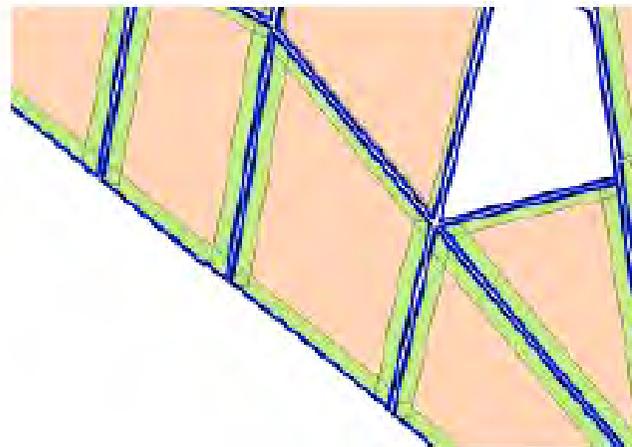
Le nombre d'arbres attaqués dans la zone inspectée (de surface égale à la longueur de la parcelle multipliée par la D_{max}) a ensuite été ramené à la surface totale de la parcelle (par règle de 3) afin d'estimer le nombre d'arbres attaqués dans la parcelle.

Méthodes - INRA

Simulation de cheminement linéaire à partir des photos aériennes sur les 10 premiers mètres des parcelles

Réalisées grâce au SIG sur l'ensemble de la forêt et selon un protocole d'échantillonnage bien défini :

- Une distance de minimale de visée fixe sur les dix premiers mètres (deux premiers rangs d'arbres pour les parcelles aux lignes parallèles à la piste).
- Une distance maximale en tenant compte de la distance de vision optimale pour chaque coté de la parcelle et fonction des caractéristiques de chaque parcelle.
- Un trajet le long des pistes centrales;
- Un trajet le long de toutes les pistes carrossables



- Pistes centrales
- Routes carrossables
- Dmax fixe de 10m
- Dmax variable

Méthodes - INRA

Echantillonnage systématique de placettes de 1000m² sur les photos aériennes (1 placette par hectare et 1 placette par 4 hectares)

Un échantillonnage systématique des arbres morts ou dépérissants a été réalisé à partir des photos aériennes.

Une grille de fenêtres (=placettes) équidistantes (disposées en quinconces) a été créée pour couvrir la zone d'étude. De façon à ce que l'échantillonnage soit suffisant en nombre d'arbres par fenêtre, quelle que soit la classe d'âge du peuplement, les dimensions des fenêtres ont été fixées à 32m de côté (donc une surface 1024 m²).

De façon à avoir un nombre suffisant de fenêtres, l'espacement entre les centres des fenêtres a été fixé à 100 m. Une fenêtre de relevé était donc en moyenne présente par ha (outre les fenêtres déplacées en bordure de parcelles).

Pour simuler un échantillonnage moins intensif à raison de 1 fenêtre par 4 ha, dans chaque ligne une fenêtre sur deux a été supprimé et également une ligne sur deux.

Méthodes - INRA

Réseau de 100 + 27 placettes "post-tempête« , de 1000 m² (20 à 270 arbres). En fin de compte, surtout utilisées pour préciser le risque phytosanitaire lié au fomes dans les parcelles sinistrées par la tempête

Ces placettes ont été choisies selon un plan d'échantillonnage croisant trois facteurs : le niveau de dégâts dans la commune, la classe d'âge des arbres et le type de lande.

Des données supplémentaires de sylviculture concernant la densité, l'origine génétique des arbres, le scénario d'éclaircies, la préparation du sol et la fertilisation sont archivées.

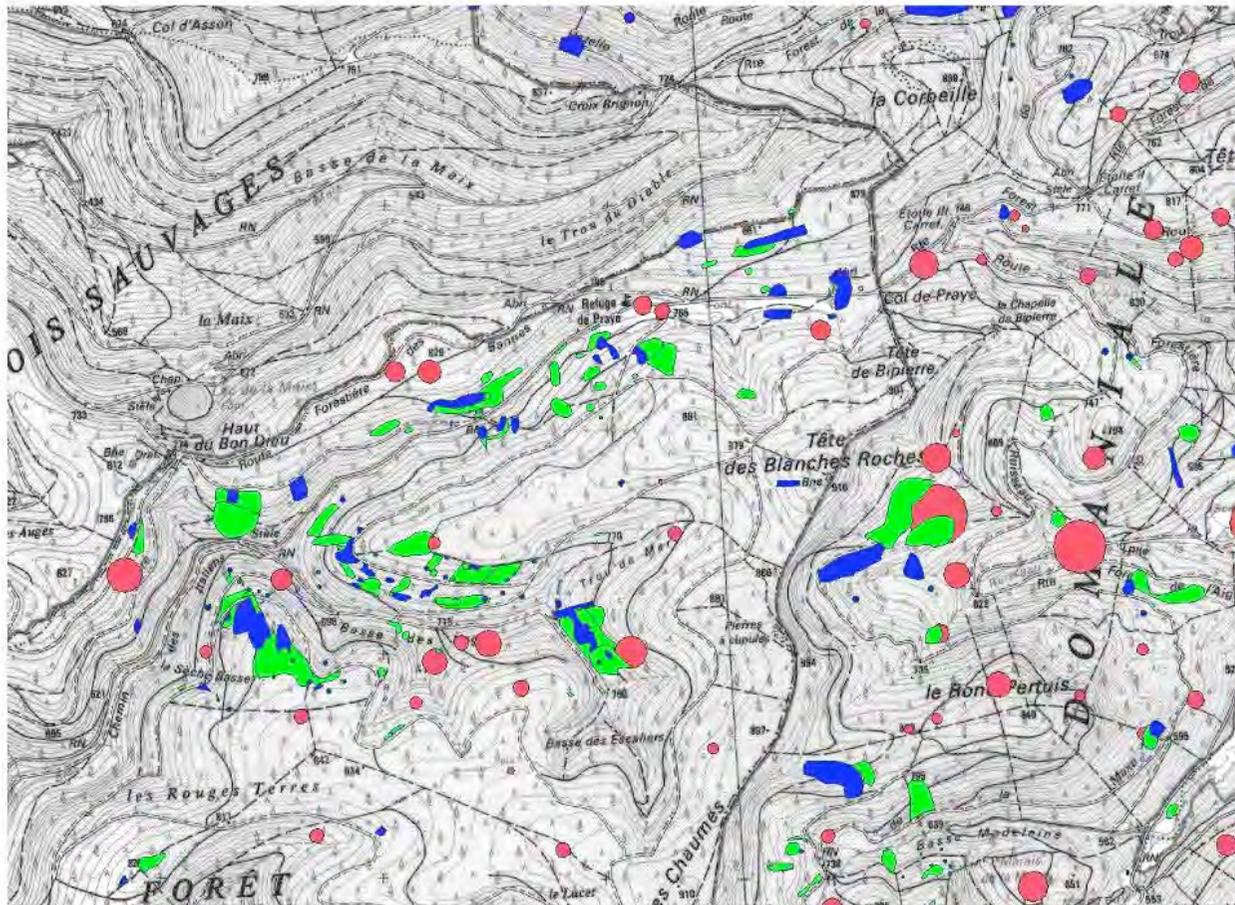
Vu les faibles niveaux d'infestation par les scolytes en automne 2001 le plan d'échantillonnage a été allégé pour 2004 et ciblé sur une analyse des mortalités induites par le fomes à partir des souches de chablis infectées par ce champignon (66 placettes inventoriées en 2004).

Ce réseau principal de 100 placettes a été complété en automne 2001 et hiver 2001-2002 par un réseau de 27 parcelles pour préciser le risque phytosanitaire lié au fomes dans les parcelles sinistrées par la tempête.

Méthodes - ULB

Inventaire exhaustif mené au sol par l'ONF, et par l'ULB dans la zone d'étude intensive. Cet inventaire servira d'état de référence.

foyers 2001, 2002 et aléatoires



Les agents de l'ONF ont recensés les foyers d'infestation en 2001 et 2002. Ces données ont été digitalisées et intégrées à un SIG.

Sur une zone pilote de 150 ha à l'intérieur de l'aire d'étude, les foyers ont été recensés à l'aide d'un GPS. Ces données ont également été intégrées à un SIG



0 2 4 Kilometers

Méthodes - ULB

Photographie aérienne infrarouge (échelle 1/10.000)

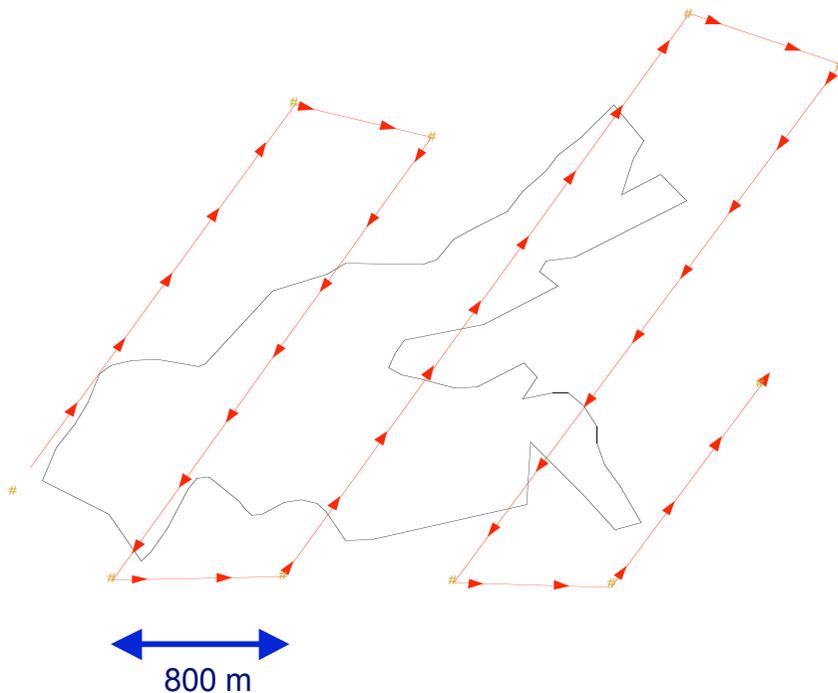
Les photographies scannées ont été portées sur un SIG, géoréférencées et rectifiées.



Méthodes - ULB

Survol en ULM avec notation des dégâts sur carte (sketch-mapping)

Nous avons testé un seul type de parcours: des transects longs espacés de 800 m sur toute l'aire d'étude. Des raisons liées aux caractéristiques techniques de l'ULM, à la disponibilité des observateurs embarqués et à des mauvaises conditions atmosphériques nous ont empêchées d'envisager d'autres tests. Les foyers recensés par ULM ont été comparés aux foyers délimités sur le terrain par l'ONF.

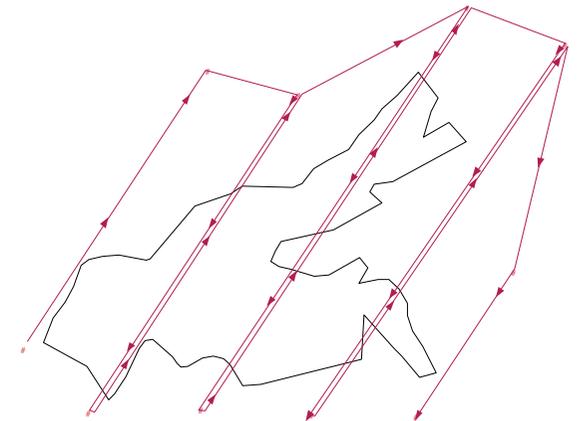


Méthodes - ULB

Survol en hélicoptère avec repérage GPS et notation des dégâts

Les trajets ont été limités à la zone pilote pour limiter le coût total. Nous avons préféré ici augmenter les types de trajets à tester que plutôt que d'accroître la zone étudiée. Les trajets testés en hélicoptère ont été :

- Des trajets aléatoires;
- Des trajets suivant les crêtes;
- Des trajets suivant les talwegs;
- Des trajets suivant des transects courts (écart : 500m). L'observateur est obligé de regarder à gauche et à droite.
- Des trajets suivant des transects longs (écart : 500 ou 1000 m). L'observateur ne regarde que d'un côté, toujours à gauche ou toujours à droite.



Méthodes - ULB

Imagerie satellitaire à haute résolution spatiale (SPOT)

Les images SPOT ont été acquises en 1991, 1992, 1993 (SPOT 3), et en 1998 et 1999 (SPOT4). Elles ont une taille de 40 km X 40 km. Elles recouvrent complètement la zone d'étude (Val de Senones, Donon et Abreshviller).

Les images du satellite SPOT ont les caractéristiques suivantes :

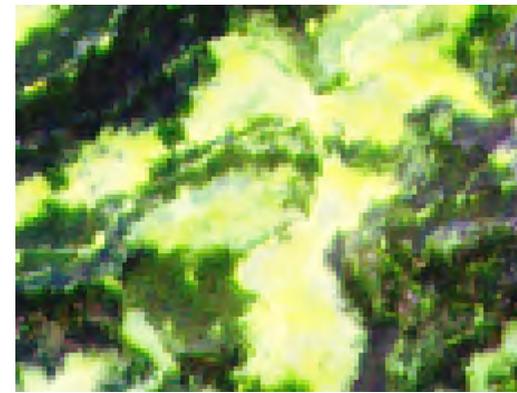
- Altitude de prise de vue : 832 km
- Inclinaison : 98 °
- Résolution spatiale en multispectrale : 20 m
- Bandes spectrales utilisées : 3 dans le : vert de 0,5 à 0,59 μm ; rouge : de 0,61 à 0,68 μm ; proche infra-rouge : de 0,78 à 0,89 μm , et infra-rouge moyen : de 1,58 à 1,75 μm (SPOT 4 seulement)
- Information spectrale : 8 bits



Extrait de l'image de 1991
(en vert – noir, les zones forestières)



Extrait de l'image de 1992



Extrait de l'image de 1993

Méthodes - ULB

Imagerie satellitaire à ultra-haute résolution spatiale (Quickbird)

Les images satellitaires à ultra haute résolution ont été prises le 16/09/2002 et le 03/07/2003. Elles ont une superficie de 10.000 ha. Elles sont centrées sur la zone d'étude. Elles recouvrent en partie les fd du Val de Senones et du Donon.

Les caractéristiques techniques de ces images sont les suivantes :

- Altitude de prise de vue : 450 km
- Inclinaison : 97,2 °
- Résolution spatiale en panchromatique : 0,7 m
- Résolution spatiale en multispectral : 2,4 m
- Bandes spectrales utilisées : 4 dans le bleu : de 0,45 à 0,52 μm ; vert : de 0,52 à 0,6 μm ; rouge : de 0,63 à 0,69 μm et proche infra-rouge : de 0,76 à 0,90 μm
- Information spectrale : 11 bits



Image multispectrale



Image panchromatique

Méthodes - ULB

Modèle de visibilité et simulation de diverses modalités de repérage au sol par cheminements en voiture et à pied.

Report sur SIG:

- Données stationnelles (ONF)
 - Type de peuplement (essence, âge)
 - Densité de peuplement
 - Hauteur des arbres
- Relief (MNT : modèle numérique de terrain)
- Données sur les foyers (ONF)
 - 2001
 - 2002
- Elaboration des différents trajets
 - Routes carrossables et chemins forestiers
 - Courbes de niveau
 - Transects
 - Création d'une couche vectorielle de «points d'observation» tous les 5 m sur tous les trajets
- Etablissement d'un "patron de visibilité" le long des trajets

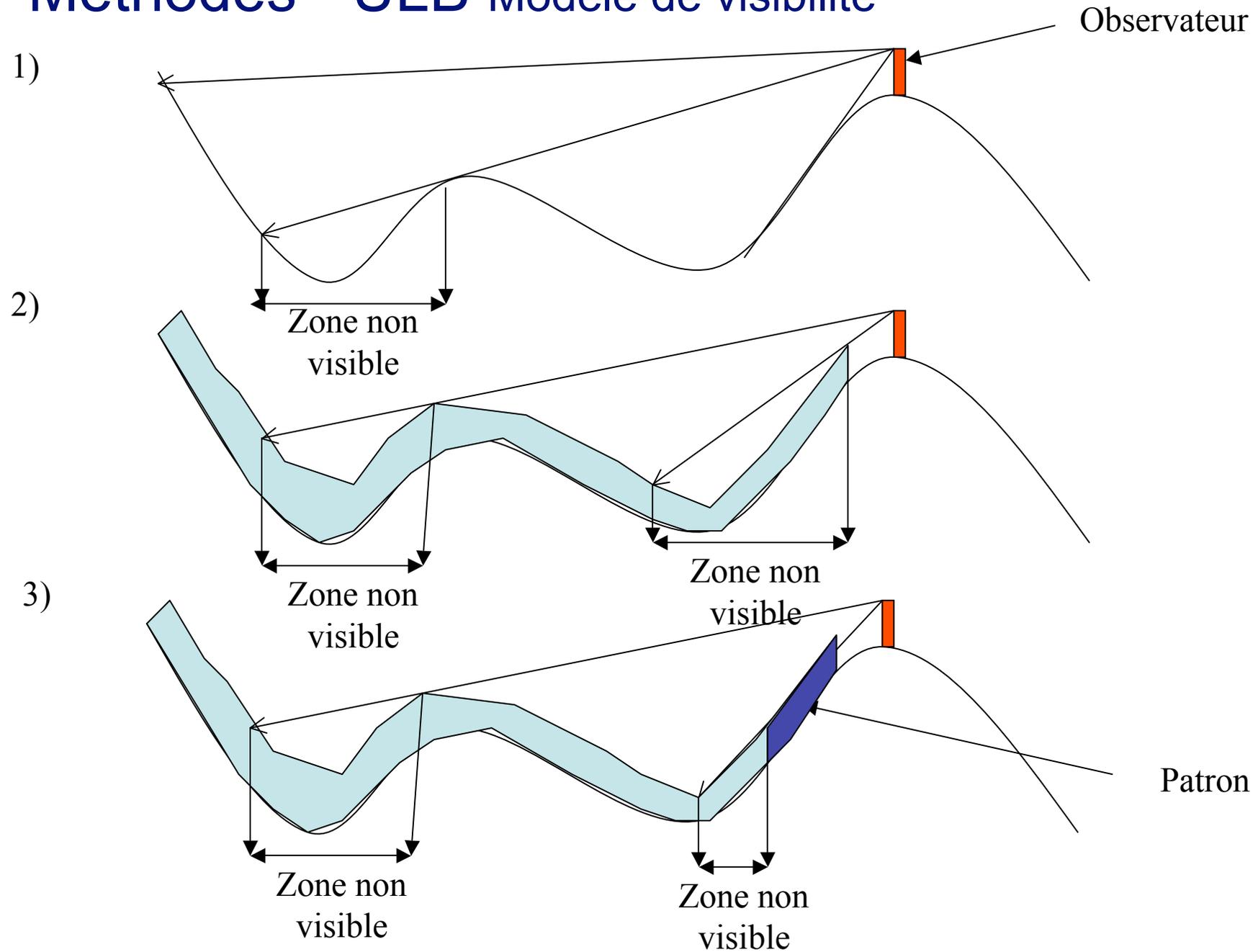
Méthodes - ULB

Modèle de visibilité et simulation de diverses modalités de repérage au sol par cheminements en voiture et à pied.

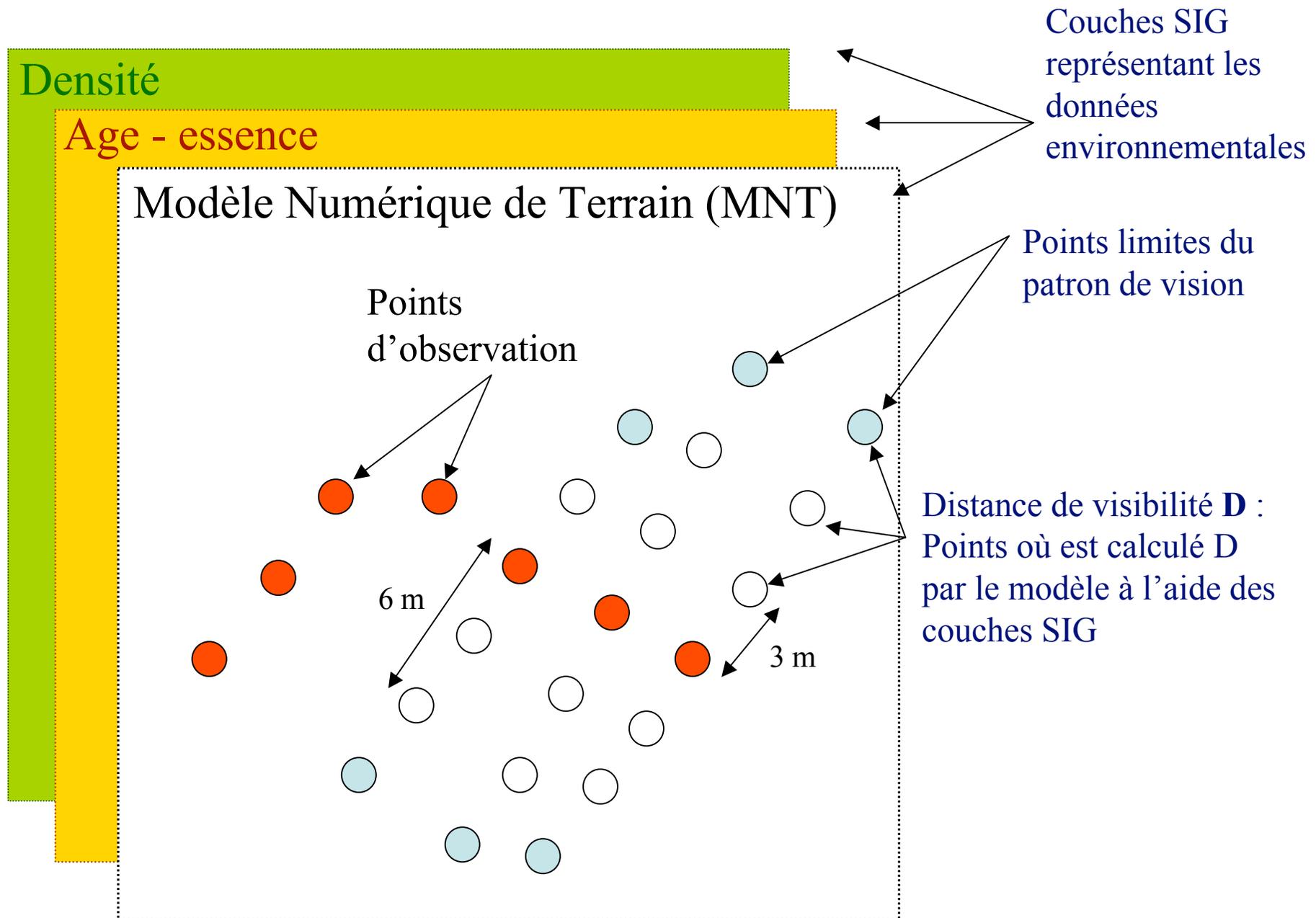
Distance de visibilité :

distance à laquelle l'observateur n'est plus capable d'apercevoir la cime de l'arbre considéré et/ou les trois quarts de son tronc

Méthodes - ULB Modèle de visibilité

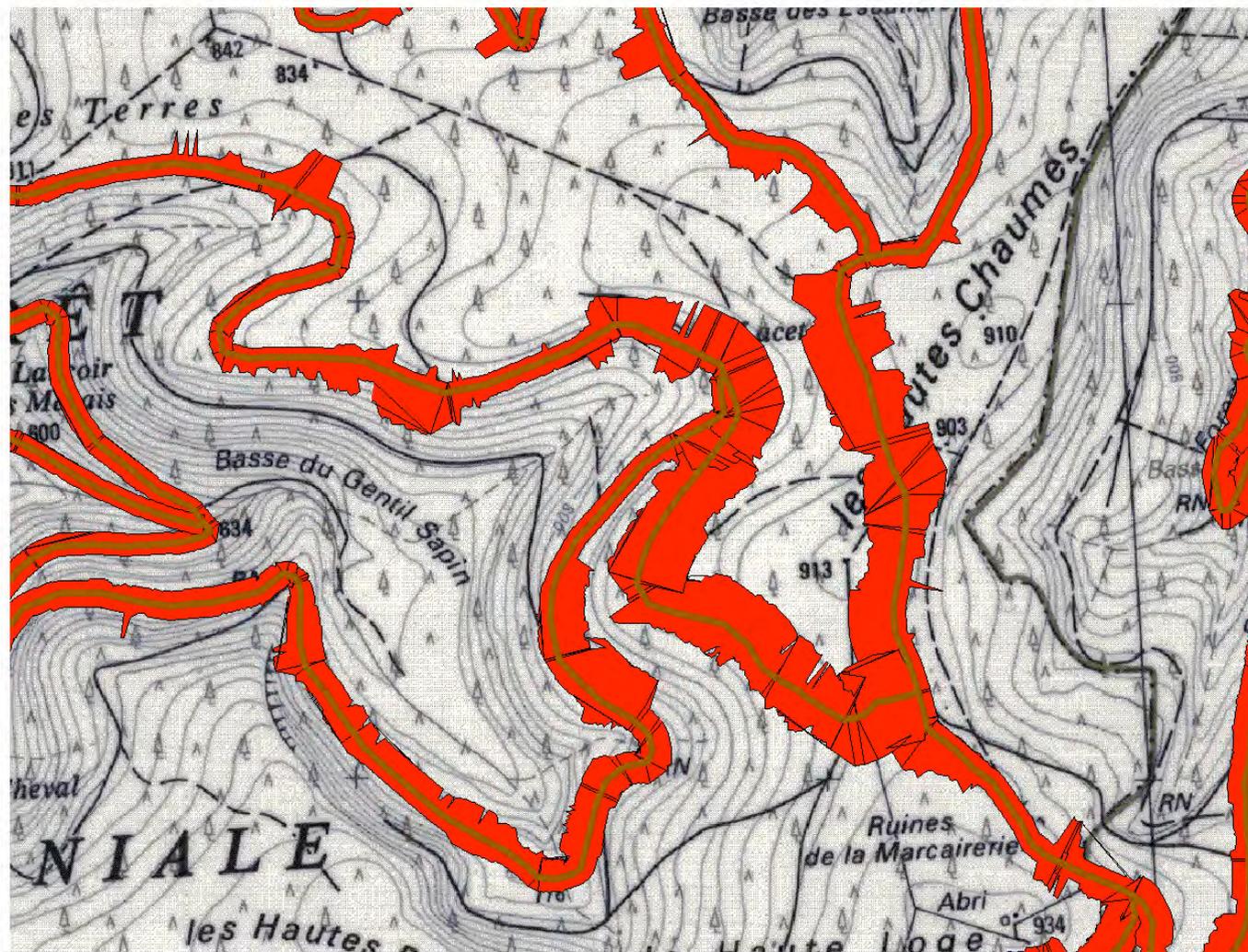


Méthodes - ULB Modèle de visibilité



Méthodes - ULB Modèle de visibilité

Patron à courte distance



- Routes carrossables
- Buffer à courte distance des routes carrossables



Méthodes - ULB Modèle de visibilité

Patron à longue distance



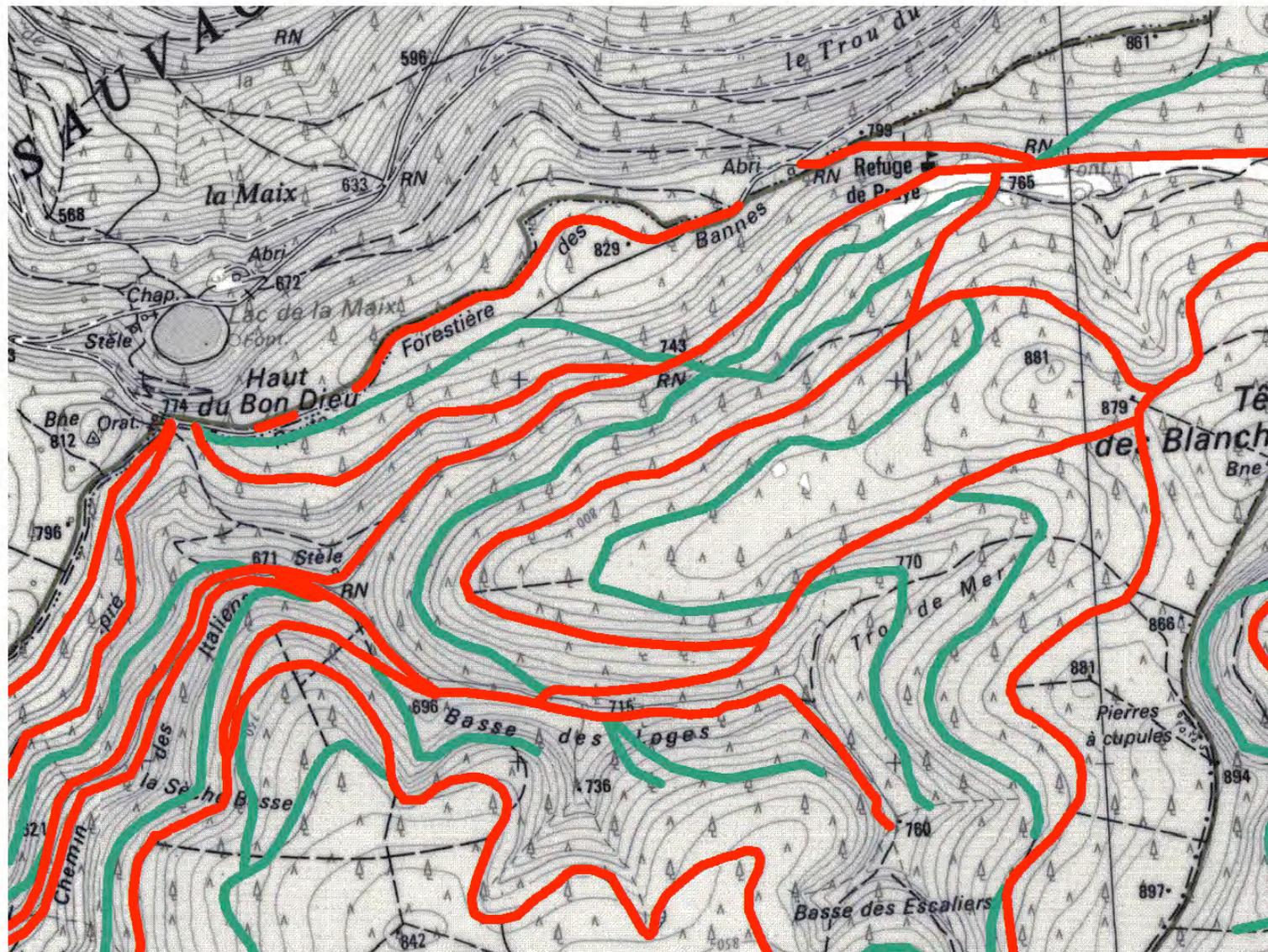
0 0.7 1.4 Kilometers



Méthodes - ULB Simulations

- Routes carrossables (RC) et chemins forestiers (CF)
- Courbes de niveau (20, 40 et 80 m)
- Transects (50, 100 et 200 m)
- Trajets conditionnels (à partir de RC et CF)
 1. Si foyer repéré, trajet jusqu'au foyer
 2. Nouvelle observation au foyer
 3. 3 itérations max, puis retour à RC ou CF
- Trajets le long du pourtour des foyers de l'année précédente

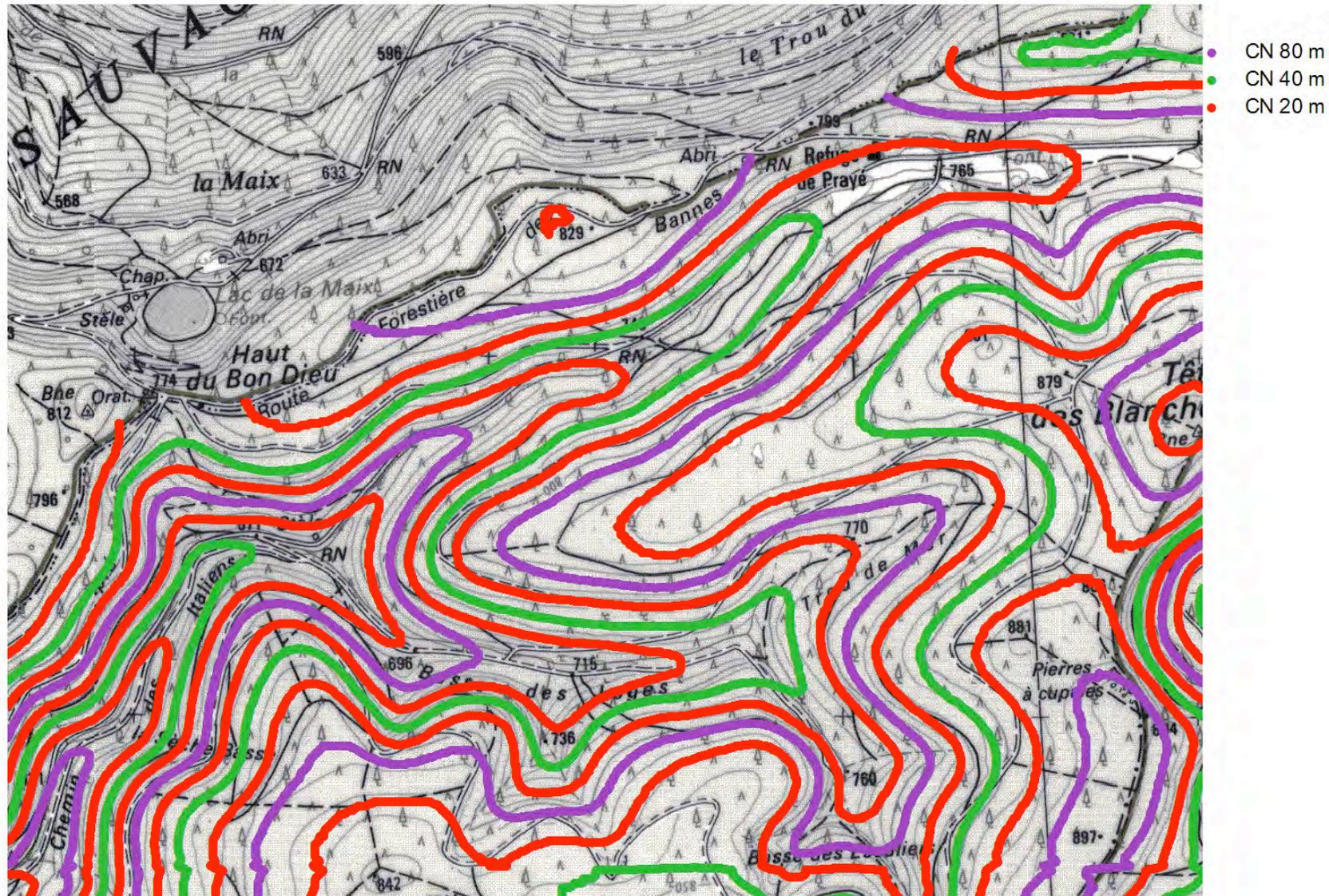
Méthodes - ULB Simulations



- Routes carrossables
- Chemins forestiers

Routes carrossables (RC) et chemins forestiers (CF)

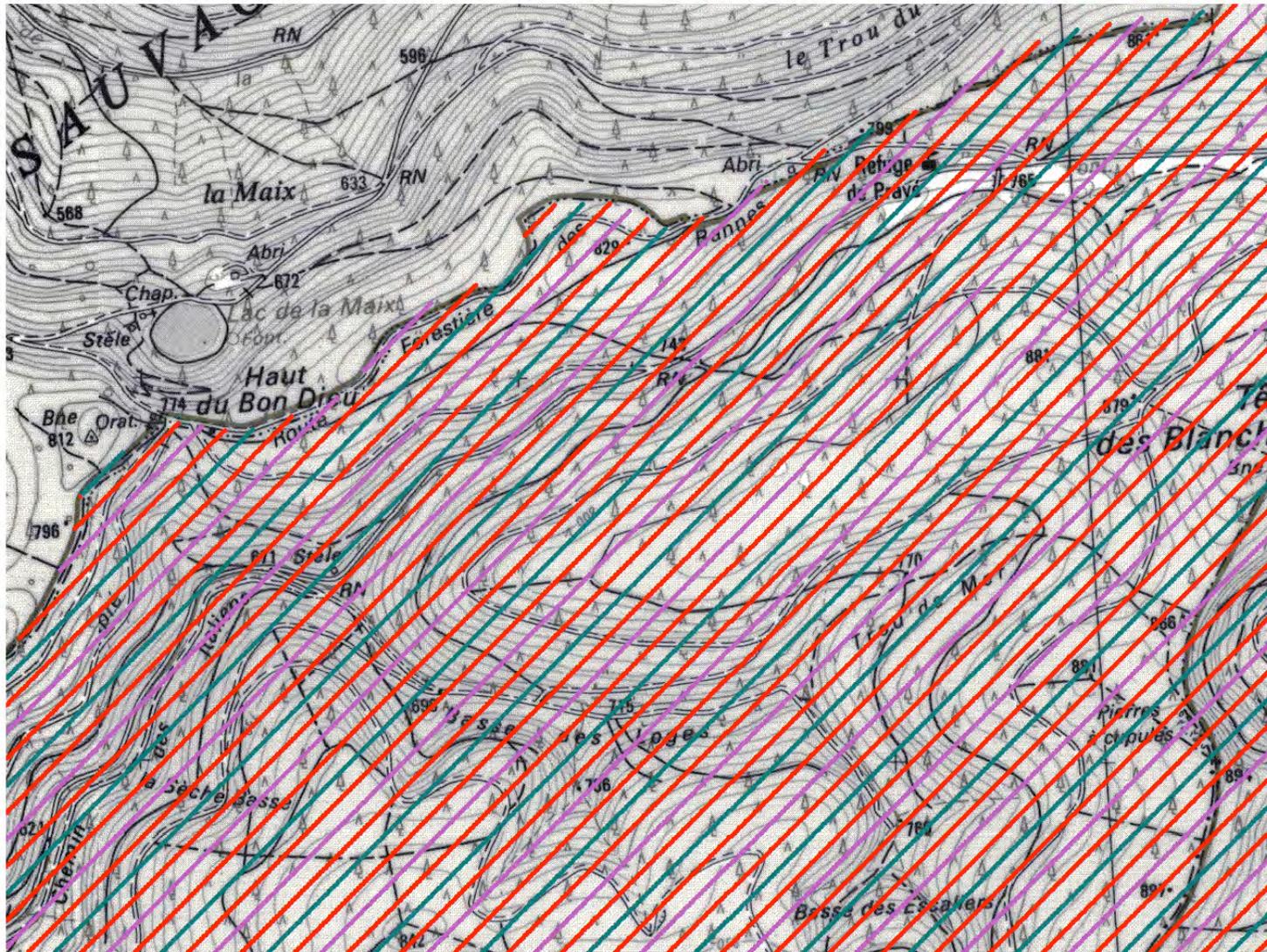
Méthodes - ULB Simulations



Courbes de niveau



Méthodes - ULB Simulations

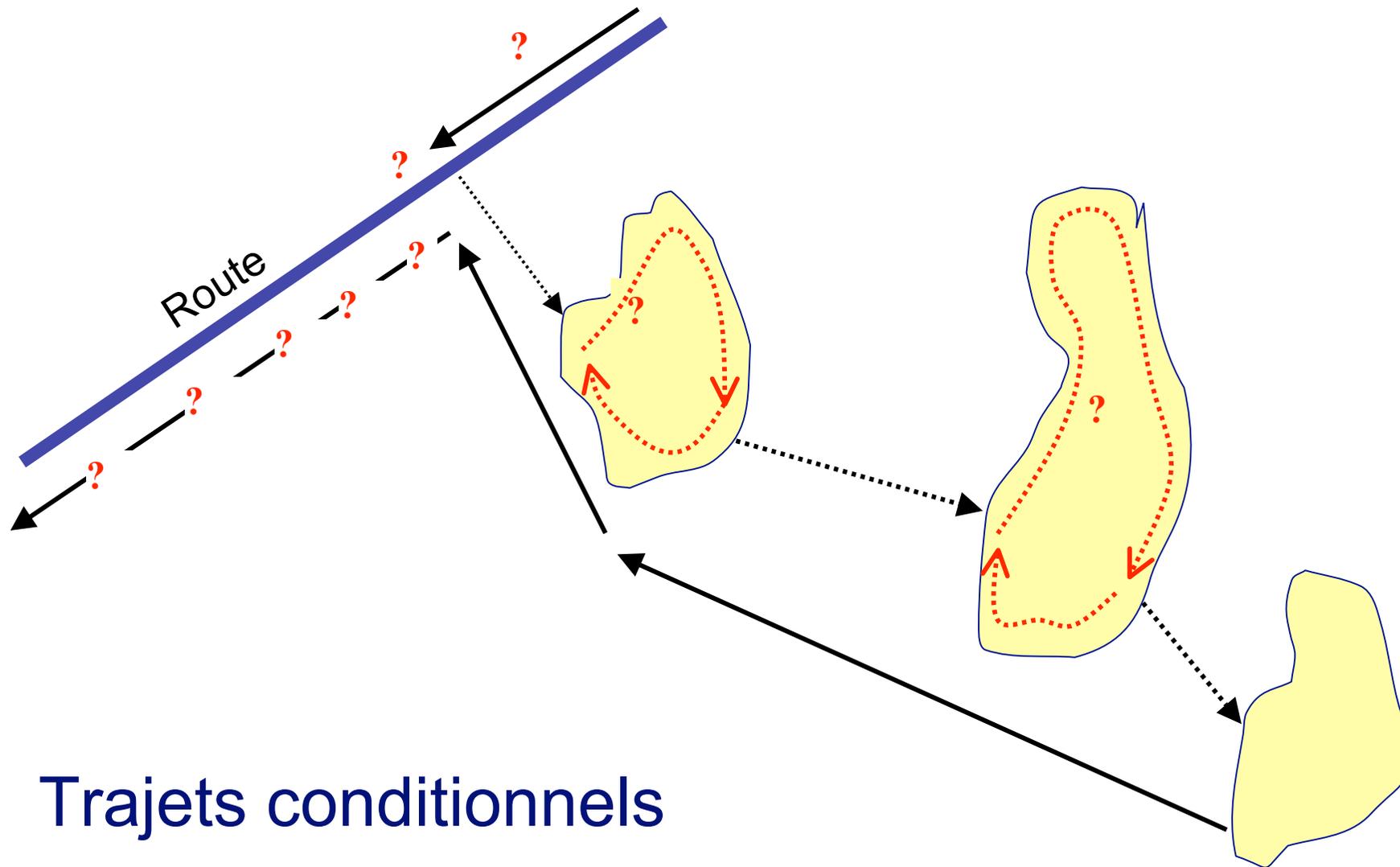


- Transects 50 m
- Transects 100 m
- Transects 200 m

Transects

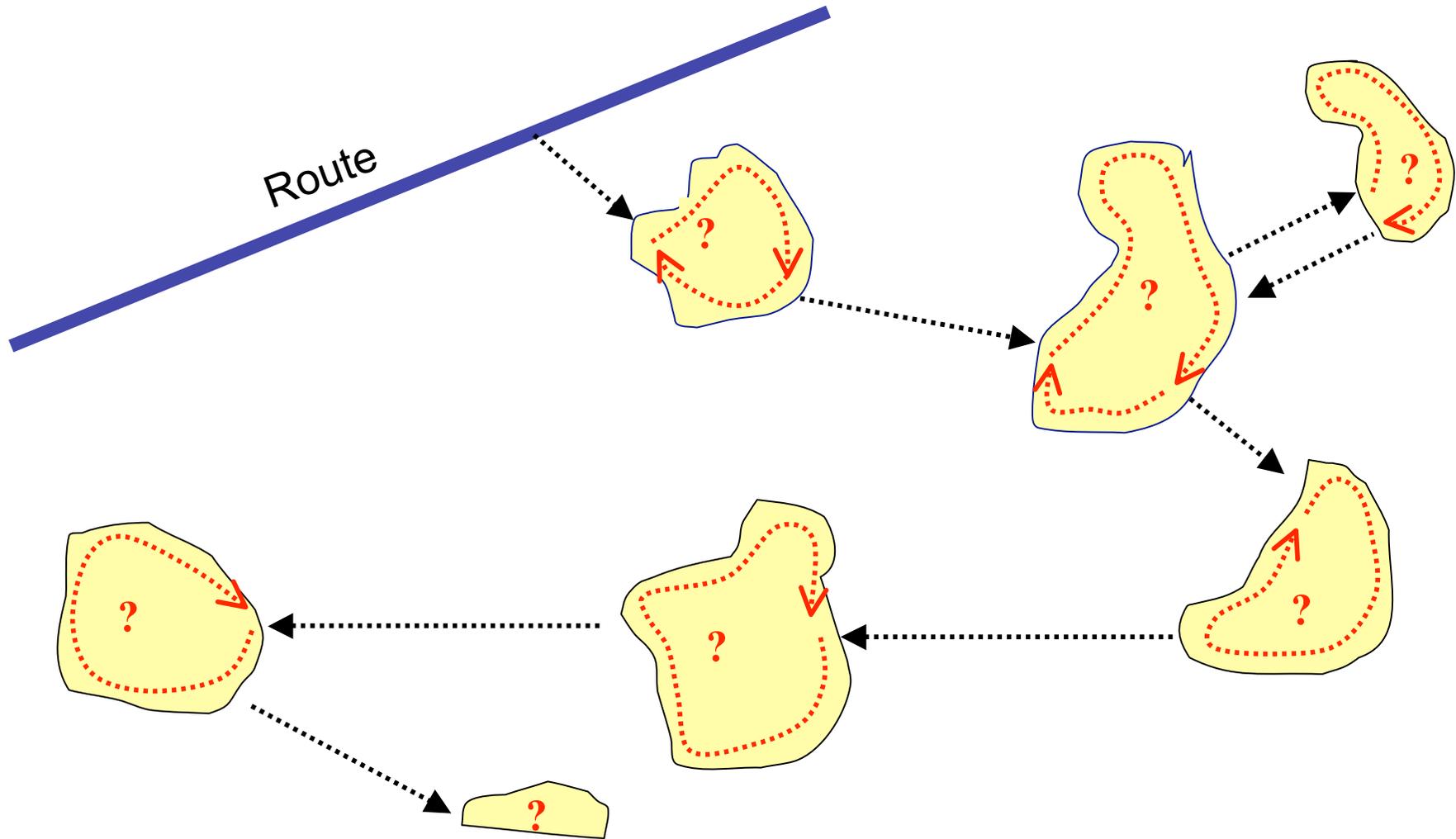


Méthodes - ULB Simulations



Trajets conditionnels

Méthodes - ULB Simulations



Anciens foyers

Méthodes - ULB Tests sur le terrain

Test sur le terrain de différents types de relevés au sol:

- o Parcours le long des routes carrossables (RC) et chemins forestiers (CF)
- o Parcours le long des routes carrossables et chemins forestiers + trajets conditionnels
- o Parcours le long des routes carrossables et des pourtours des foyers de l'année précédente



Résultats - INRA

- 1) Mise en évidence d'un facteur réellement clé de la dynamique spatio-temporelle de *Ips sexdentatus* : la ressource de développement très favorable que représentent les piles de grumes de bois stockées en bord de pistes forestières. On a observé très clairement l'existence d'agrégats d'arbres verts (debout) attaqués à proximité de ces piles. Le rayon d'influence de ces piles serait de l'ordre de 500m.

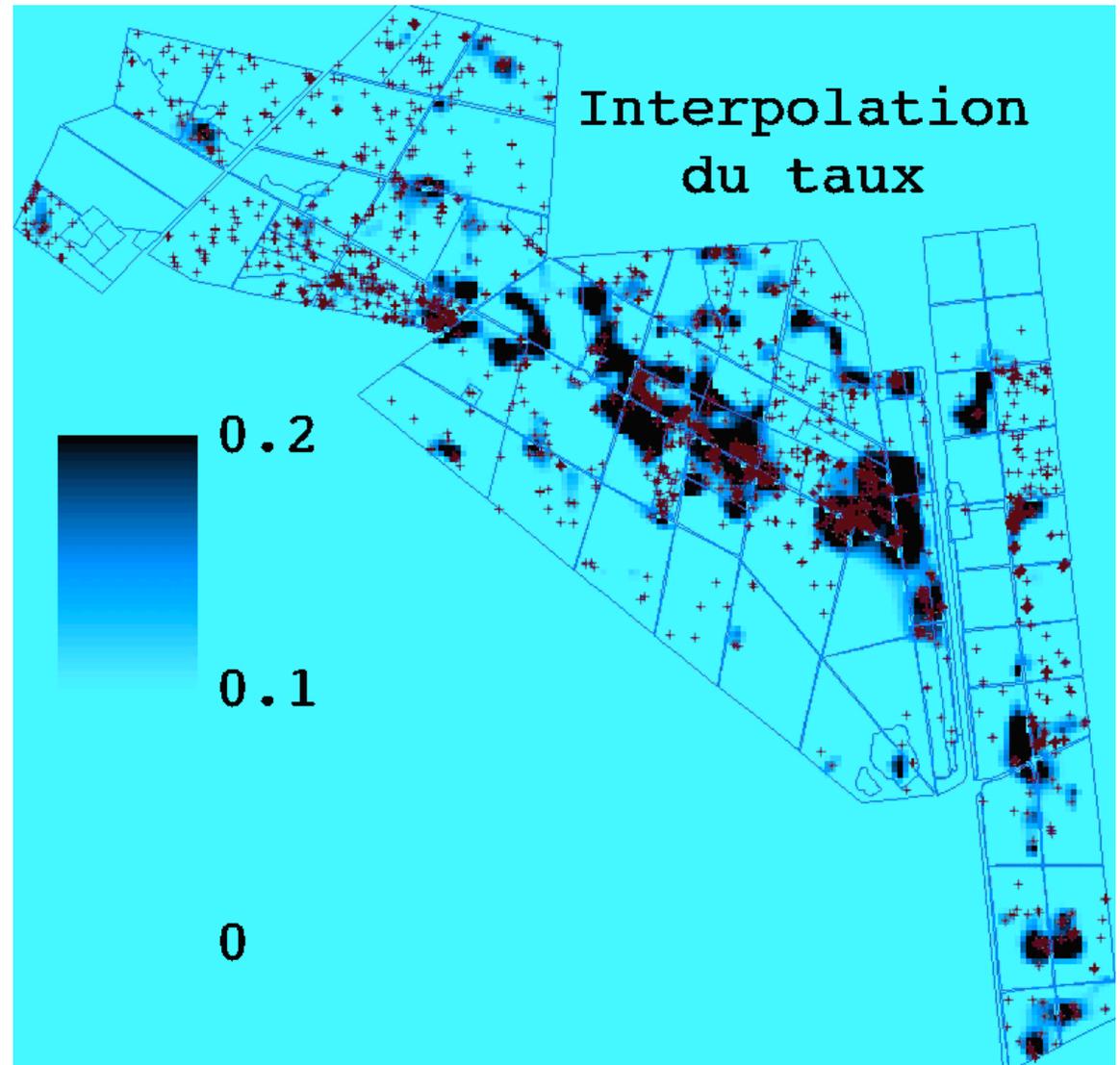


Résultats - INRA

Distribution spatiale des arbres attaqués par *Ips sexdentatus*

Interpolation du taux d'arbres attaqués par les scolytes à l'échelle de la fd du Lagnerau.

Les taches les plus sombres (fortes densités d'attaques) sont proches de la piste centrale où étaient stockées les piles de bois



Résultats - INRA

- 2) Le choix de la méthode d'échantillonnage pour l'estimation des dégâts de scolytes après tempête dépend de l'échelle choisie:
 - a) **A l'échelle de la petite forêt ou de la propriété forestière**, la méthode d'échantillonnage par cheminement le long des routes s'avère assez efficace car facile à mettre en oeuvre et donc peu onéreuse (une voiture et deux observateurs), standardisable (profondeur d'observation fixe de 10m), et plutôt fiable. Cependant, le biais de l'estimation explose en cas de présence de piles de bois stockées longtemps.
 - b) **A l'échelle du massif ou de la région** aucune méthode d'observation menée *a posteriori* ne semble satisfaisante (trop onéreuse pour les photos aériennes quand il faut couvrir toute la surface, trop imprécise pour le line transect à cause de la structure agrégée des attaques).

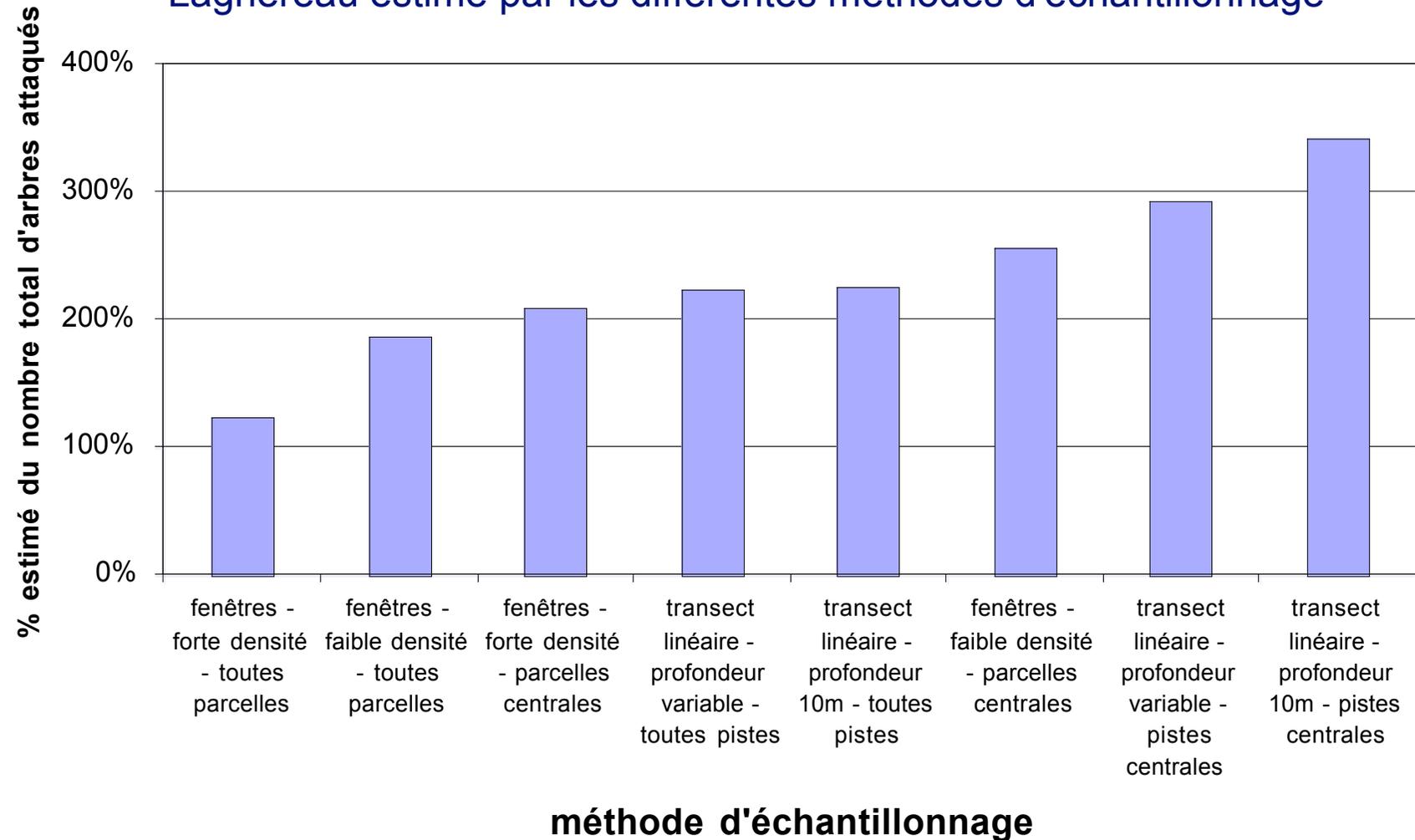
Résultats - INRA

- 3) En revanche, bonne capacité du réseau de placettes d'observation établi avant tempête à délivrer une information assez juste du niveau global des dégâts.

Ceci plaide pour le développement de réseaux systématiques d'observation sanitaire à l'échelle régionale, qui pourrait notamment être couplés aux grilles d'échantillonnage de l'inventaire forestier national.

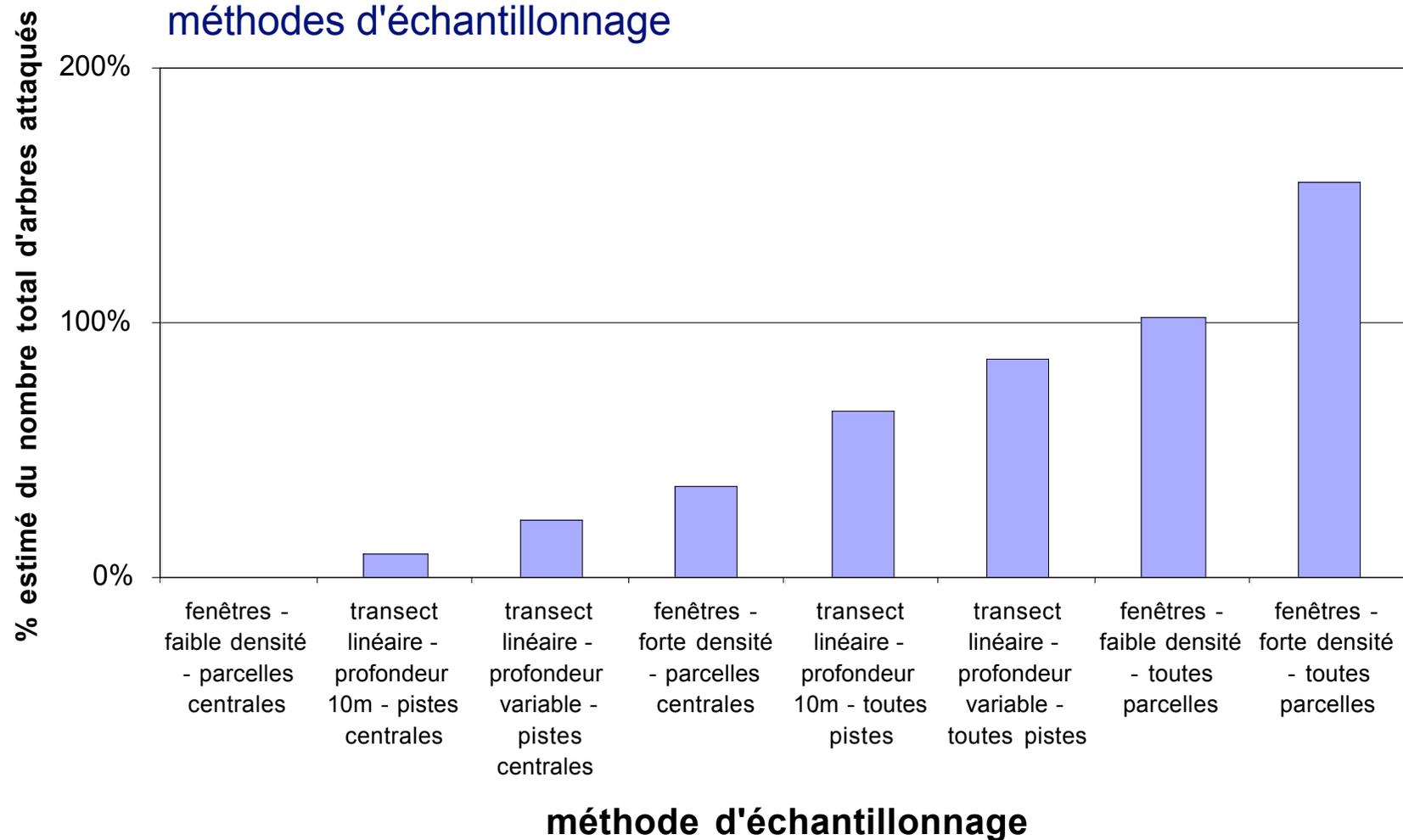
Résultats - INRA

Pourcentage du nombre réel d'arbres atteints dans toute la forêt du Lagnereau estimé par les différentes méthodes d'échantillonnage



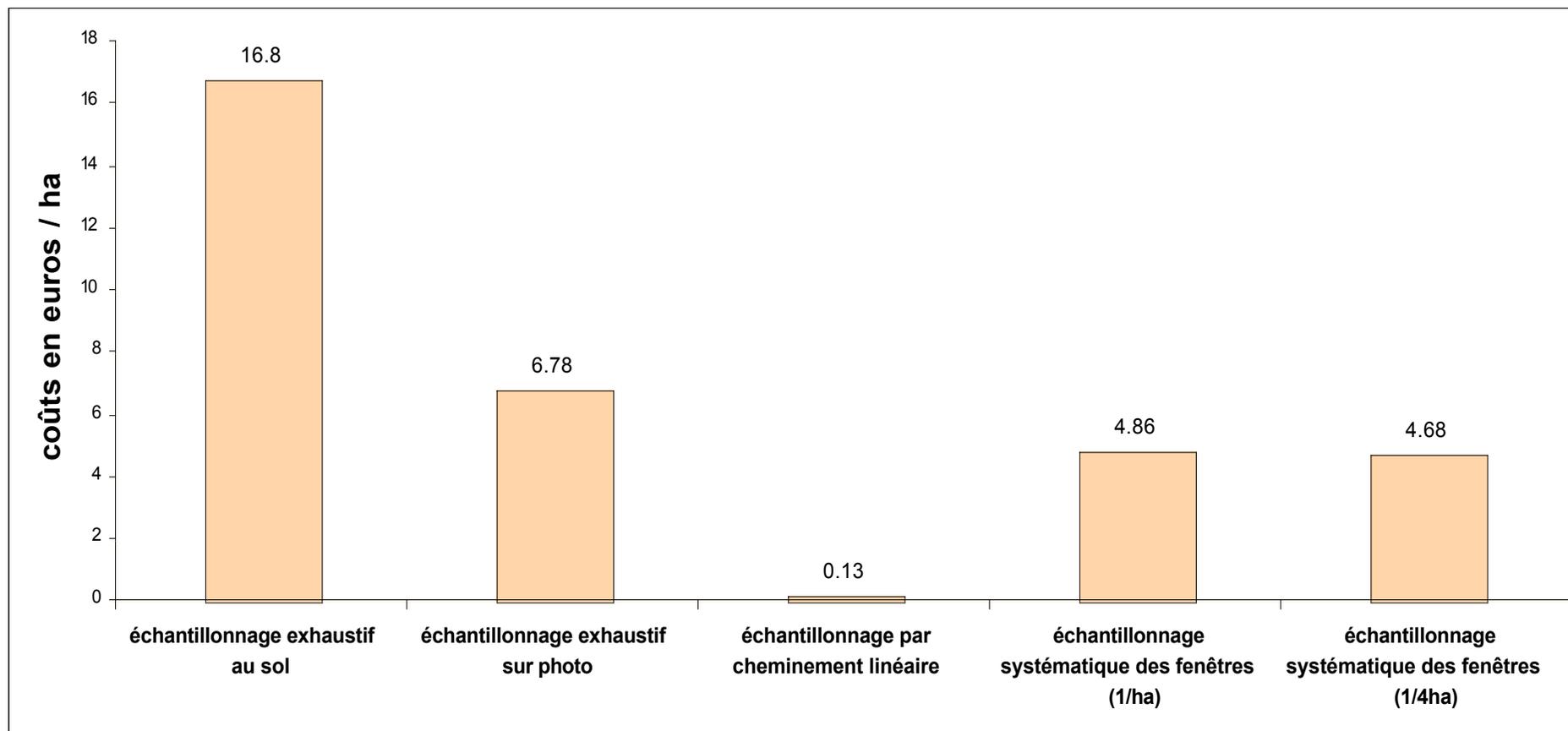
Résultats - INRA

Pourcentage du nombre réel d'arbres atteints dans toute la forêt du Lagnereau sans piles de bois stockées, estimé par les différentes méthodes d'échantillonnage



Résultats - INRA

Coûts en euros / hectare des différentes méthodes d'échantillonnage



Résultats - INRA

Fomes

Cette étude a permis de mettre en évidence la forte contamination par le fomes des souches de chablis et de volis issus de la tempête de décembre 1999.

Dans les deux réseaux de suivi phytosanitaire mis en place après cette tempête, le fomes a été détecté sur environ 30 % des souches (exploitées ou non) examinées. Ces contaminations sont présentes dans toutes les régions du massif et leur niveau est indépendant de l'intensité des dégâts de fomes et/ou des dégâts de tempête dans le secteur ou la commune.

Ces résultats ont conduits à donner des conseils aux sylviculteurs pour le nettoyage des parcelles suite à la tempête avant reboisement. Le champignon pouvant se maintenir pendant de nombreuses années dans le bois, il a été conseillé de broyer grossièrement les souches (déchiquetage type croque-souche) afin de permettre un dessèchement rapide du bois et du champignon à l'air libre.

Résultats - ULB

1. L'analyse de photos aériennes au 1/10.000^e est un processus très lent, dont la précision dépend aussi d'autres facteurs, notamment de l'échelle de la base cartographique de référence et de la résolution du modèle numérique de terrain nécessaires pour la rectification des photos.
2. La précision du géoréférencement des informations prises à bord d'un ULM ou d'un hélicoptère est faible, ceci pour un coût élevé.
3. La résolution d'images satellitaires à haute résolution SPOT 3 ou 4 (20 m en multispectral) ne permet pas de localiser les petits foyers.
4. Par contre, les images satellitaires à ultra-haute résolution Quickbird ou Ikonos (0,7 m en panchromatique; 2,4 m en multispectral) offrent des perspectives très intéressantes pour le repérage rapide et exhaustif des foyers. Cependant, ces images sont chères, et la date et les conditions de prise de vue sont fixées par l'opérateur.

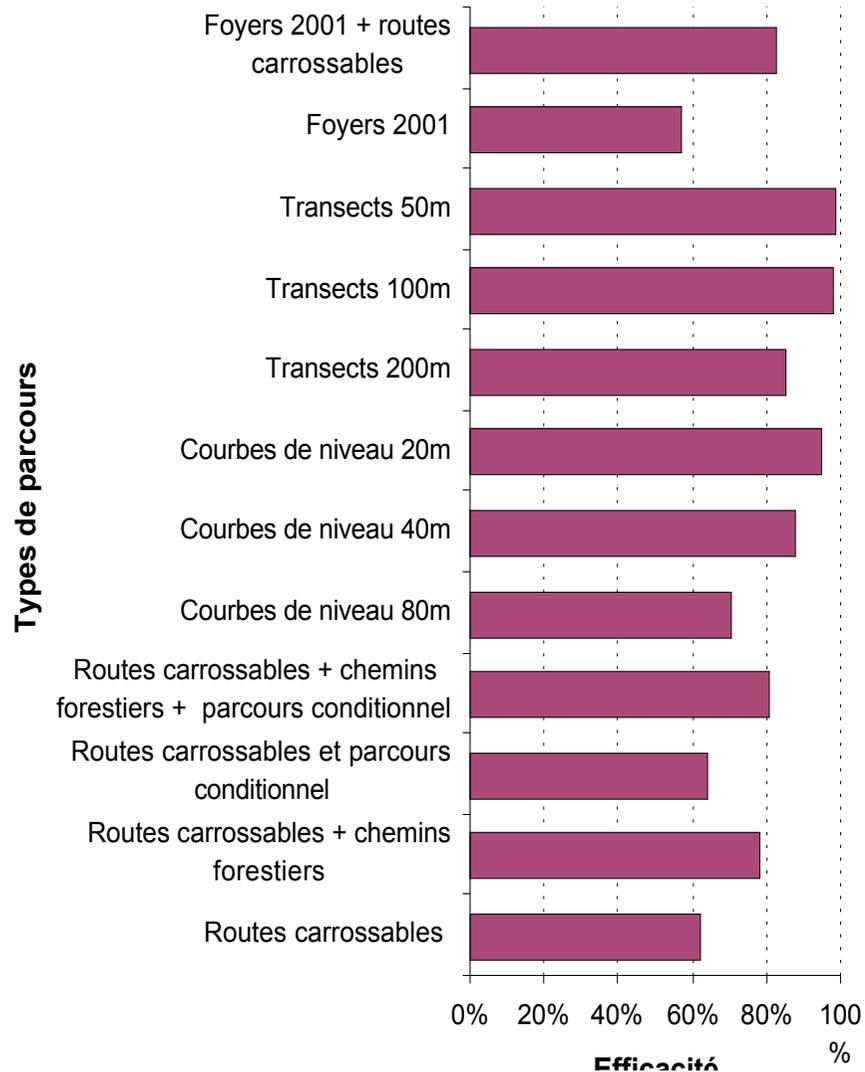
Résultats - ULB

1. Des parcours le long des routes carrossables et les chemins forestiers ainsi qu'à partir des foyers connus sont de bonne efficacité ($\text{Nb de foyers observés} / \text{Nb de foyers total}$), et de bon rendement ($\text{Nb de foyers observés} / \text{distance parcourue}$, ou $\text{Nb de foyers observés} / \text{temps dépensé}$).
2. Un bon compromis entre haut rendement et grande efficacité est obtenu par les parcours le long des routes carrossables et à partir des foyers connus, par les parcours le long des routes carrossables et les chemins forestiers.

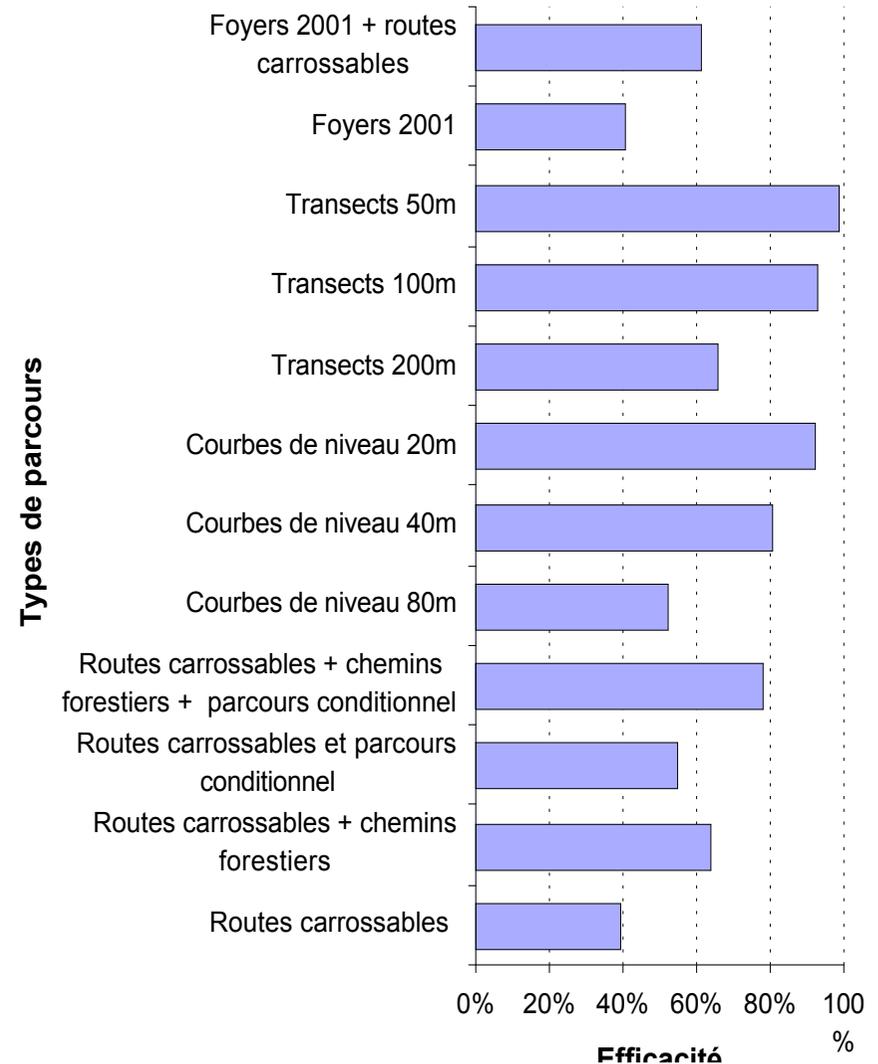
Résultats – ULB

Efficacité de différents parcours

Efficacité (en nombres de foyers)

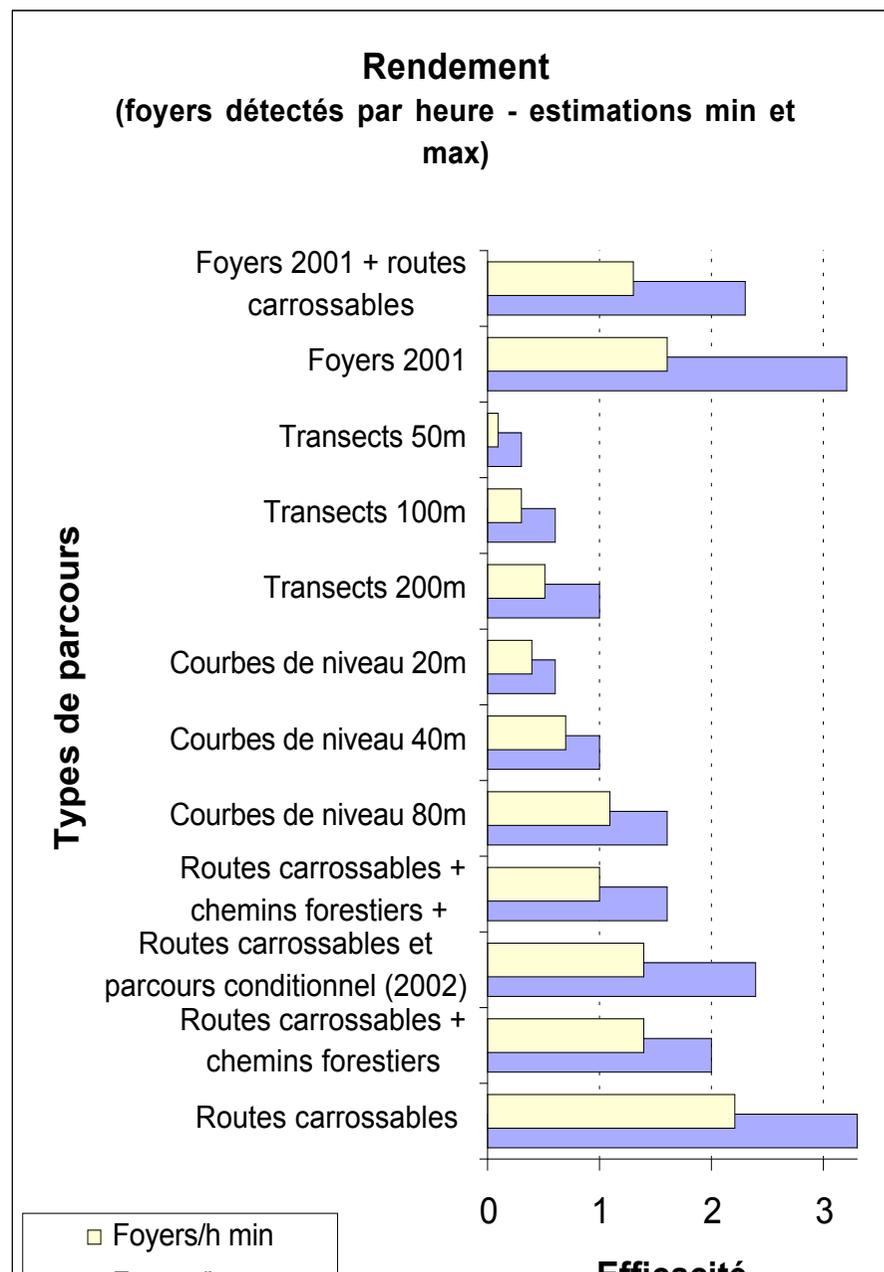
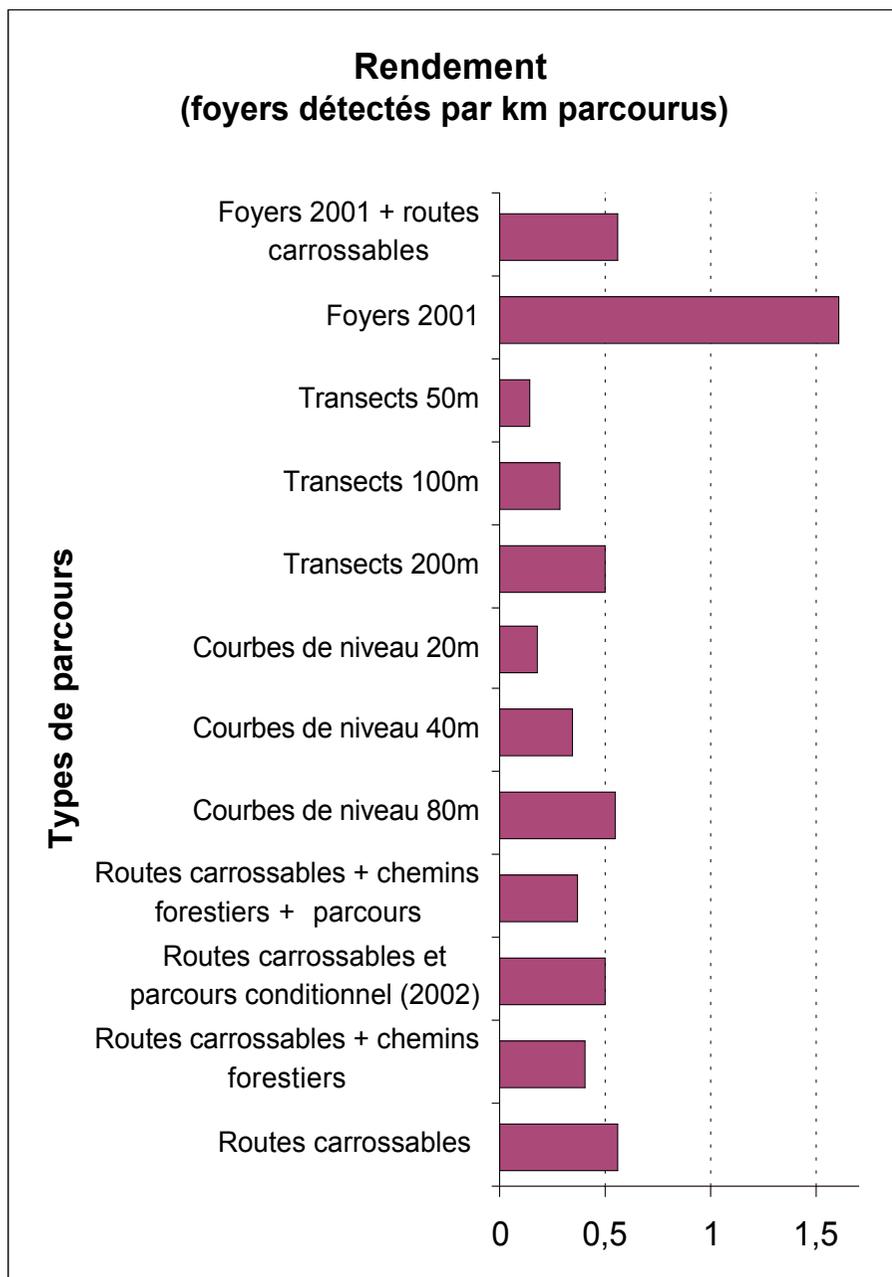


Efficacité (en superficie estimée)

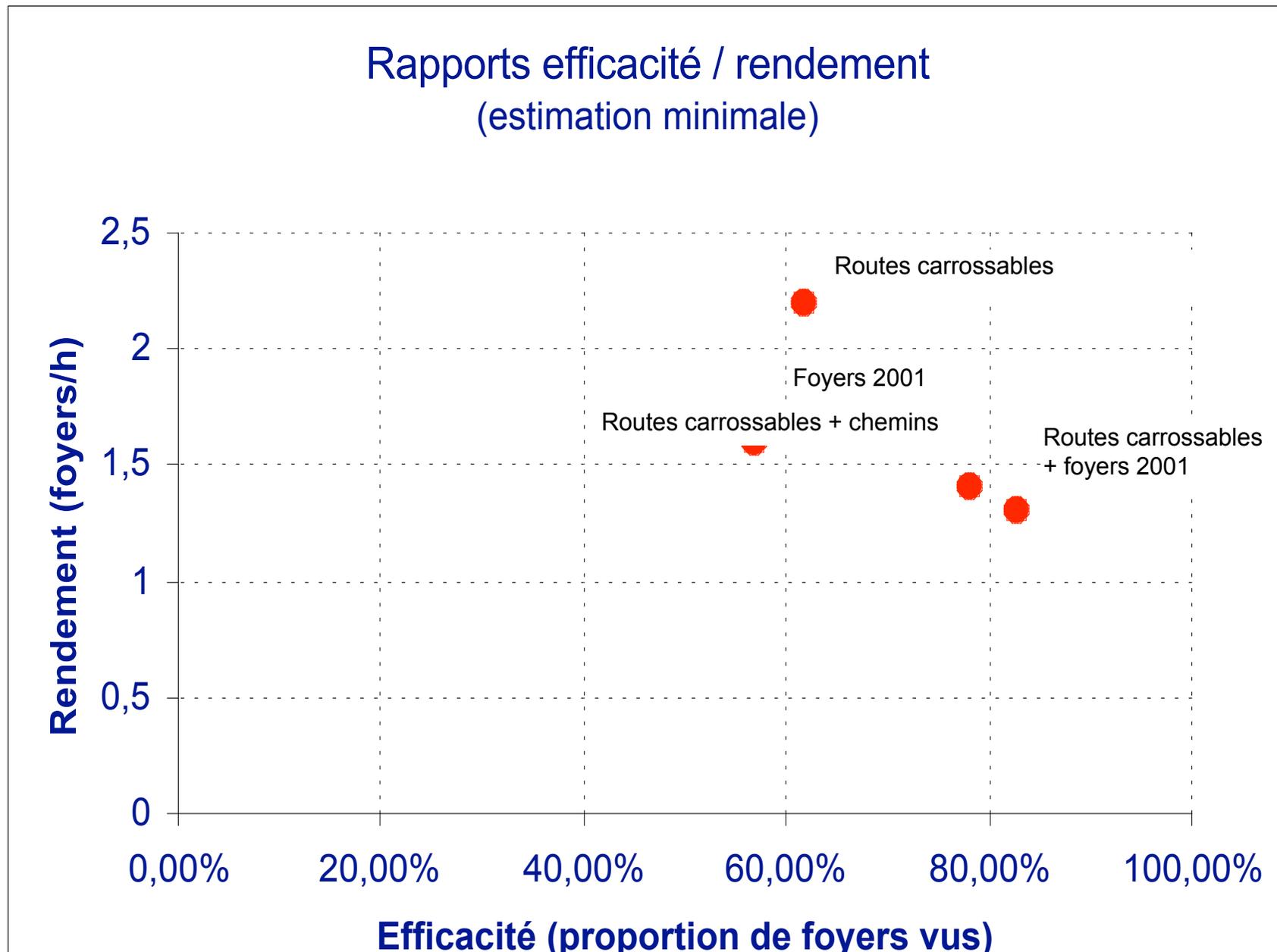


Résultats – ULB

Rendement de différents parcours

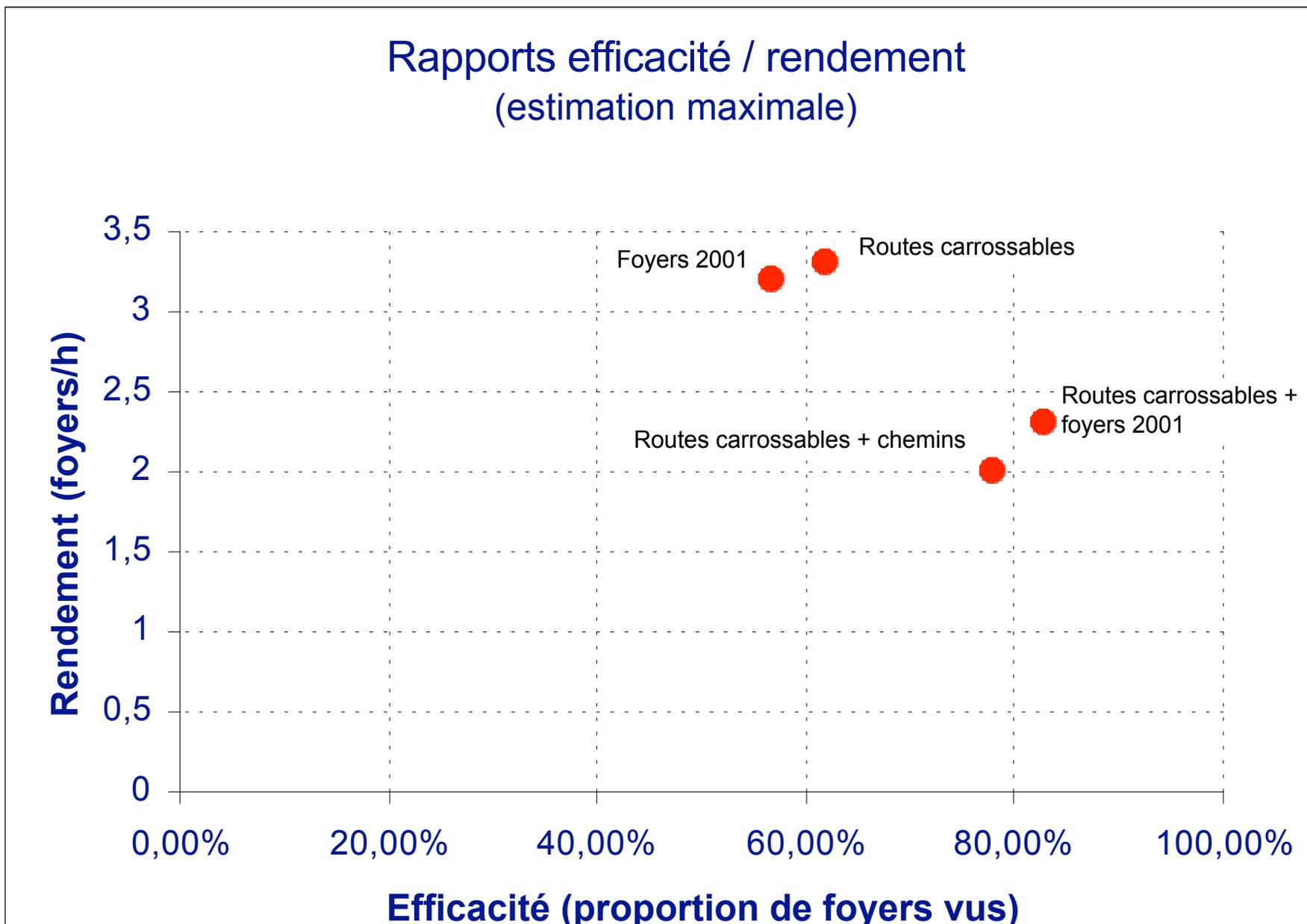


Résultats – ULB comparaisons efficacité / rendement



Résultats – ULB

comparaisons efficacité / rendement



Perspectives

1. Confrontation des techniques préconisées avec la pratique des agents de terrain.
2. ULB : analyse spatiale de la distribution spatio-temporelle des foyers.
3. ULB & INRA : atelier commun centré sur une comparaison des méthodes utilisées. Elaboration d'une synthèse.
4. Publication de notes de synthèse à l'usage des praticiens. Organisation d'un séminaire de terrain ?