

Unités paysagères et biodiversité des îlots boisés : De l'image satellitale à l'analyse de terrain

Marc GALOCHET*, Vincent GODARD**, Micheline HOTYAT*
Centre de Biogéographie-Ecologie (UMR 8505-CNRS/ENS)
Ecole Normale Supérieure de Fontenay/Saint-Cloud – France

Introduction

En Pologne comme en France, le paysage des terres de grande culture est composé d'une mosaïque de parcelles agricoles associées à des espaces boisés non jointifs, de taille, de forme variées ou parfois reliés entre eux par des haies ou des corridors boisés. Ces espaces boisés ont été et sont très largement influencés par l'homme compte tenu des modes d'exploitation. Ainsi, la biodiversité des îlots boisés dépend autant des conditions du milieu que des actions anthropiques.

Quelle est l'influence des modes de gestion forestiers et des traditions forestières sur la biodiversité des îlots boisés ? Quelle diversité caractérise les îlots boisés, en terme de structure et de fonctionnement, insérés dans des écosystèmes dominés par l'agriculture intensive ?

Pour illustrer nos propos, un secteur en Grande Pologne (Wielkopolska) situé à cinquante kilomètres au sud de Poznan, caractéristique des paysages de terres de grande culture, a été retenu.

Dans un premier temps, à l'aide des données satellitales, les unités paysagères sont délimitées, puis dans un deuxième temps, le repérage des îlots boisés est effectué à partir d'une procédure d'extraction automatique. Enfin, la biodiversité de ces îlots est analysée à partir d'un échantillonnage spatial.

1. Unités paysagères et biodiversité des îlots boisés

La recherche d'unités paysagères dans l'occupation du sol permet une approche contextuelle des îlots boisés et de mieux saisir les conditions environnementales dans lesquelles ils se situent. Cette biodiversité des îlots boisés s'apprécie en considérant à la fois leur répartition spatiale et les modifications survenues au cours du temps. Cela revient à croiser les conditions du milieu ainsi que les pratiques et usages qui ont influencé et influencent cette biodiversité.

1.1. A la recherche d'une définition des unités paysagères

Le terme d'unité paysagère ou d'unités de paysage est difficile à cerner tant il existe encore un certain flou dans sa définition, voire sa conception. Néanmoins, quelques limites peuvent être fixées :

- globalement, une unité paysagère est homogène et constitue un tout possédant une identité propre,
- une unité paysagère peut être déterminée parce qu'elle offre suffisamment de différences avec celles qui l'entourent. Cette différence permet la délimitation spatiale de l'unité et de dégager ses caractéristiques.

- mais, homogène ne veut pas dire monotone et ne signifie pas la présence d'un seul élément répétitif. Au contraire, une unité paysagère est composée de divers éléments organisés de telle manière qu'ils en constituent son originalité et son identité. En conséquence, pour délimiter une unité paysagère, il devient nécessaire de recenser tous ses éléments constitutifs, d'analyser leur agencement et de mettre en évidence leur intégration dans l'espace.

* Université Paris-Sorbonne (Paris-IV)

** Université Paris-VIII Saint-Denis

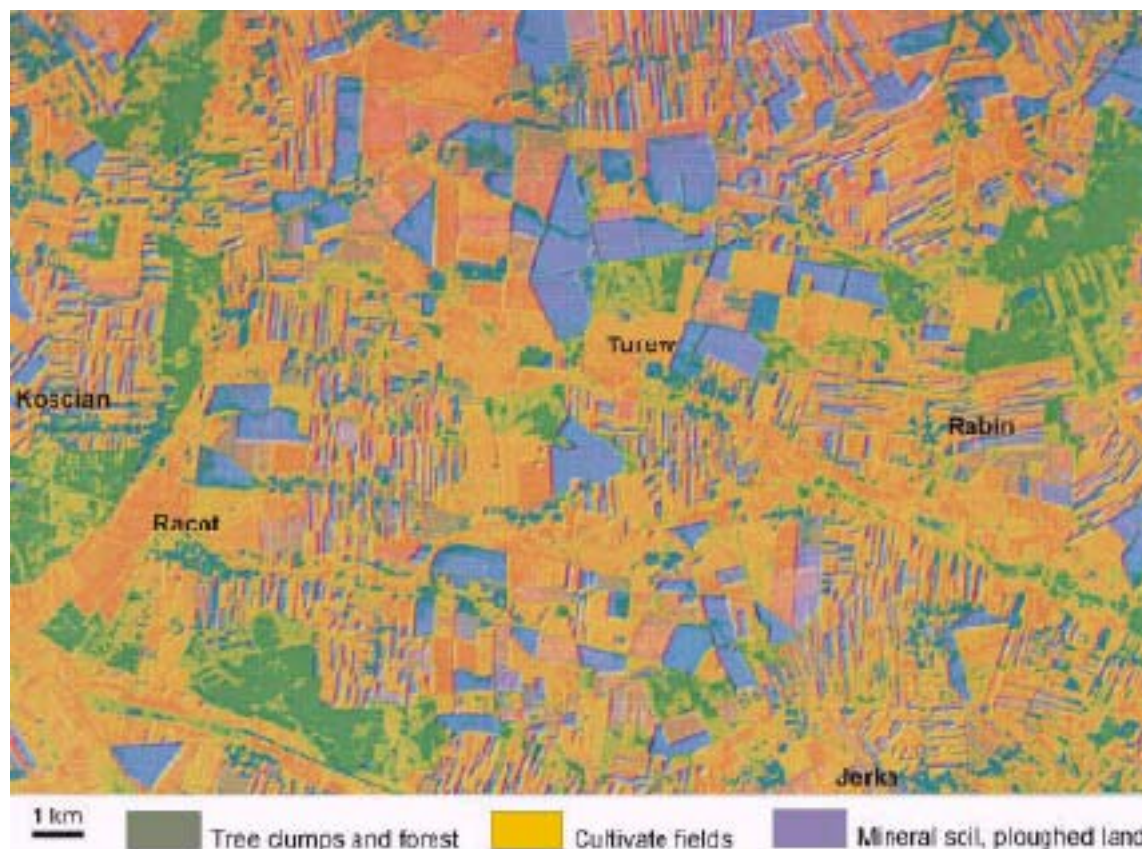


Figure 1. Parc agro-écologique du Général Chlapowski (Grande Pologne). Composition colorée des données SPOT du 17 juin 1997

Ainsi, comme l'exprime Marcel Papy, les « unités de relatives égales apparences » sont composées de grandes masses d'occupation du sol (réseaux de communication, habitat, espaces agricoles, bois et forêts...), de la taille et de la forme des parcelles (qu'elles soient agricoles ou forestières), des modes d'occupation du sol et de la topographie (Papy, 1998). Chaque unité paysagère est ainsi définie par une physionomie et donc par une structure qui traduit les usages qui y sont exercés : c'est-à-dire l'utilisation du sol.

1.2. Les îlots boisés : des unités paysagères à la diversité végétale

Les îlots boisés en tant qu'unité paysagère, peuvent être abordés à deux niveaux complémentaires (Hotyat, Galochet et Liège, 1999).

- A l'échelle régionale, d'abord, pour repérer toute l'organisation des unités paysagères en distinguant une mosaïque de parcelles agricoles, qui constituent l'agrosystème et les bois qui représentent le sylvosystème (**figure 1**). Ainsi, en considérant les espaces boisés dans leur contexte régional parmi les autres éléments du paysage, nous pouvons faire apparaître leurs relations dans l'espace. Cette échelle permet d'apprécier la fragmentation de la couverture forestière (Harris, 1984).

- A l'échelle du bois, ensuite, nous pouvons apprécier toute la diversité structurale et végétale qui traduit le fonctionnement et les structures internes des îlots boisés.

La fragmentation de la couverture forestière et son organisation spatiale agissent sur la biodiversité végétale des îlots boisés. En effet, ces espaces boisés de différentes tailles peuvent être considérés comme des « îles » totalement isolées aussi bien dans des espaces maritimes que continentaux. Toutefois, ces îles continentales telles les « sommets des chaînes de montagnes isolées », les îlots forestiers enclavés dans des agrosystèmes, présentent des caractères particuliers, faisant appel à la théorie de biogéographie insulaire (Mac Arthur, Wilson, 1967).

La théorie de l'équilibre dynamique, élaborée par Mac Arthur et Wilson en 1963 et 1967, explique la constitution et l'évolution des biocénoses insulaires par conjonction de deux phénomènes

antagonistes : l'immigration des espèces nouvelles et l'extinction d'espèces (Ramade, 1994). Les îlots boisés se trouvent d'autant plus enrichis par les espèces migrantes que les continents sources sont proches. Inversement, le taux d'extinction est d'autant plus important que les îlots boisés sont isolés.

Mais, cette théorie qui considère la distance qui sépare les îlots entre eux et des continents sources, ainsi que la taille, en revanche ne tient pas compte de la densité respectives des espèces, de leur abondance-dominance, de leur capacité à produire des semences, de leur possibilité de colonisation et des potentialités du milieu.

Cette théorie a fortement marquée les concepts de l'évolution des biocénoses dans les années 1960, néanmoins il convient d'y ajouter les données du milieu et prendre en considération l'influence des des actions humaines exercées sur le milieu.

1.3. Des espaces boisés façonnés par l'homme

La plupart des espaces boisés sont en effet façonnés par les activités de gestion forestière. Les héritages des travaux sylvicoles et les traditions forestières influencent durablement la structure et la diversité végétale des îlots boisés.

Comme des traces indélébiles, les espaces boisés de Grande Pologne sont marqués par une sylviculture héritée de l'invasion prussienne puis par presque un demi-siècle de collectivisme. Des événements importants qui ont marqué les sociétés en place en modifiant les structures économiques, sociales et paysagères sur plusieurs générations. Mais, comme l'écrivait Fernand Braudel dans sa *Grammaire des civilisations*, « le passé des civilisations n'est [...] que l'histoire d'emprunts continuels qu'elles se sont faites les unes aux autres, au cours des siècles, sans perdre pour autant leurs particularismes, ni leurs originalités ».

Ainsi, après le troisième partage de la Pologne en 1795, qui la fit disparaître de la carte de l'Europe, la Grande Pologne a été sous la domination prussienne jusqu'en 1918, date à laquelle la Pologne retrouva son indépendance suite à la défaite des Empires centraux et la Révolution russe (Le Breton, 1994). Cette occupation a eu des conséquences importantes sur les traditions forestières et les milieux forestiers, que l'on perçoit encore aujourd'hui au travers de nombreuses formations ligneuses monospécifiques et équiennes composées le plus souvent de pin sylvestre.

Toutefois, une exception s'affirme en Grande Pologne avec le domaine d'un aristocrate : le Général Dezydery Chlapowski (1788-1879), grand propriétaire terrien dont les aménagements perdurent aujourd'hui. Engagé à l'âge de 18 ans dans l'armée napoléonienne, après avoir étudié à l'Ecole Militaire de Paris, il devient l'aide de camp de l'empereur, au côté duquel il accomplit de grandes campagnes militaires qui lui permettent de voyager à travers l'Europe occidentale. De retour, en Pologne vers 1820, il se consacre à ses terres (17 000 hectares)¹ et réalise des aménagements forestiers et agricoles importants, influencés par les expériences observées au cours de ses nombreux voyages en Angleterre, Ecosse, Irlande et aussi en France. Il plante des arbres d'alignement sur le bord des chemins, il multiplie les expériences de drainage, de rotations culturales, d'essais de semences, il reconstitue des haies pour briser le vent et limiter l'érosion éolienne, introduit des essences exotiques tel que le robinier et constitue des îlots boisés.

Les idées du Général Chlapowski sont reprises par quelques uns de ses amis aristocrates qui diffusent ainsi son modèle agro-forestier. Mais, celui-ci ne s'étend guère au-delà de la Grande Pologne en raison de la proximité de la frontière entre la Prusse et la Russie.

Ces anciens aménagements forestiers qui ont modifié et façonné ces espaces boisés, influencent encore aujourd'hui la diversité paysagère, identifiable à partir des images satellitales. Encore faut-il mettre au point une méthodologie susceptible de cerner ces unités paysagères, de les identifier sur le terrain, de les analyser et d'en assurer une représentation cartographique. La télédétection adaptée à une perception globale des principaux types d'occupation du sol vus « du dessus », à une échelle régionale, offre ces possibilités.

1. Création en 1992, du « General Chlapowski Landscape Park », also called an Agroecological Park, géré par Research Center for Agricultural and Forest Environment of the Polish Academy of Sciences.

2. Intérêt de la télédétection pour délimiter des unités paysagères et saisir les îlots boisés

La répartition, la taille et la forme des îlots boisés des terres de grande culture, en Pologne comme en France sont déterminés par les conditions du milieu et l'intensité de leur exploitation par l'homme. La confrontation des facteurs naturels et culturels (Hotyat, Galochet et Liège, 1997) explique la diversité végétale spécifique, stationnelle et paysagère, qui peut être appréhendée par l'analyse d'images de télédétection.

2.1. L'intérêt de la télédétection pour appréhender les îlots boisés

Dans quelle mesure les espaces boisés des terres de grande culture, considérés comme élément du paysage géographique et radiométrique, peuvent-ils être individualisés par rapport aux autres types d'occupation du sol ?

La télédétection utilise les propriétés physiques des objets observés, pour acquérir de l'information sur leur nature, par l'intermédiaire du rayonnement électromagnétique que ces objets émettent ou réfléchissent. Ainsi, les objets peuvent être différenciés par leur signature spectrale.

A partir d'une composition colorée spécifique (**figure 1**), (indice de végétation, filtre Roberts sur cet indice et analyse en composantes principales, respectivement codés en bleu, vert et rouge), nous pouvons apprécier la distribution spatiale des espaces boisés (dans des nuances de vert) par rapport aux autres types d'occupation du sol (champs cultivés en orange et sol nu en bleu), de détecter leur structure et les essences dominantes.

La télédétection possède un double intérêt. D'une part, celui d'apporter des informations numériques, par le biais des différents canaux et de leur résolution spectrale et d'autre part, celui de fournir une exhaustivité, une sorte « d'objectivité » sur l'ensemble de l'espace étudié. Toutefois, il ne faut pas ignorer que les objets dont la taille est plus petite que celle de la résolution spatiale ne sont pas repérables (sauf très forts contrastes radiométriques) et que les variations topographiques, par les effets d'ombre, peuvent engendrer des confusions dans l'identification des objets constituant le paysage. Vis-à-vis de la télédétection, il faut donc être prudent quant à l'interprétation des données et comme l'exprime Laurence Le Du « l'utilisation du proche infra-rouge et de l'infra-rouge moyen, dans l'étude des paysages, est nécessaire, mais impose, plus encore que pour les canaux du visible, une bonne interprétation des données qui passe par une bonne connaissance du terrain. Il faut, non seulement lier les informations de l'image à une réalité précise, mais de plus discerner dans quelle mesure cette réalité peut être considérée comme un critère propre à définir une unité paysagère » (Le Du, 1995). Ceci pose la question des procédures d'automatisation : dans quelle mesure ces démarches sont-elles possibles compte tenu du fait que certains éléments, trop petits (haies, limites de parcelles, arbres isolés...), ne sont pas décelables, tandis que d'autres, non visibles dans le paysage sont révélés par le biais de la réflectance (humidité du sol, variation de l'activité chlorophyllienne...).

Pour limiter ces inconvénients, il convient d'associer d'autres informations, comme celles fournies par les cartes topographiques, les photographies aériennes, le cadastre ou tout autre document cartographique et données statistiques.

Ce croisement de l'information permet d'allier la rapidité des traitements des données satellitaires, la précision des autres sources d'information et la possibilité d'aboutir à la généralisation. De plus, cette démarche favorise une approche transcalaire de l'espace.

Afin d'appréhender l'ensemble des îlots boisés, une procédure d'extraction par masque est effectuée (**figure 2**). Cette population d'îlots constitue la base de sondage, d'où sont extraits les individus enquêtés.

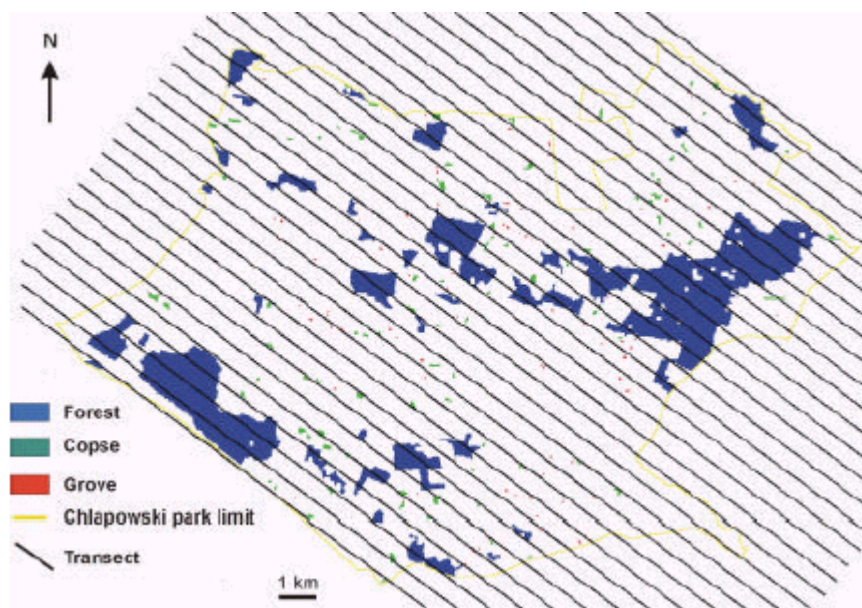


Figure 2. Extraction par masques des îlots boisés et répartition des transects

2.2. Le choix des échantillons dans les unités paysagères : de la moyenne à la grande échelle

Cette approche multisources et multi-échelles de l'espace intègre un maximum d'informations, le plus souvent complémentaires. Cependant, les documents présentent des échelles différentes, ce qui impose d'effectuer un calage entre les différents documents puis un géoréférencement.

Toutefois, la richesse d'une telle approche par emboîtement d'échelles favorise un premier découpage en unités paysagères à partir des images satellitales au sein desquelles seront sélectionnés des échantillons représentatifs nécessaires à l'analyse du niveau scalaire inférieur. Dans cette étude seront successivement employés les données satellitales, les photographies aériennes et les enquêtes de terrain complétées par les diverses cartes disponibles.

La télédétection offre donc la possibilité d'un découpage systématique de l'espace à l'aide de logiciels de traitements d'images, l'espace étudié peut être renseigné avec une périodicité d'environ 26 jours, grâce au passage répété du satellite SPOT sur une même zone, la nature et la structure des objets supérieurs à la taille du pixel sont décelables. Des informations non perceptibles directement dans le paysage sont révélées par les valeurs radiométriques comme : le stress hydrique des végétaux, l'intensité de l'activité chlorophyllienne...

La photographie aérienne informe sur les structures du paysage et les textures des objets, les éléments paysagers les plus petits sont repérables et la vision stéréoscopique permet de saisir le relief de l'espace étudié. Puis, le travail d'enquête de terrain donne une signification à tous ces composants. Enfin, les documents complémentaires employés permettent de vérifier la signification de certains objets, d'extraire certains renseignements et/ou de renseigner sur des types d'occupation du sol spécifiques.

Si le schéma méthodologique semble simple, en revanche la mise en œuvre est beaucoup plus complexe.

3. Comment saisir la biodiversité des îlots boisés sur le terrain ?

La biodiversité d'un îlot boisé est fonction de son environnement externe (forme et nature de la lisière), comme de son contexte interne (intensité de l'exploitation sylvicole, répartition des

parcelles...). La surface, le périmètre et donc la compacité sont des facteurs déterminants pour apprécier les caractères de chaque îlot boisé.

Seule, la mise au point d'un système d'enquête de terrain peut permettre de caractériser la biodiversité de ces îlots. Cette démarche comprend plusieurs étapes : Tout d'abord, le recensement de la population qui s'effectue à l'aide d'un masque pour isoler les îlots boisés de leur contexte afin de faire ressortir leur distribution spatiale, leur forme et leur taille. Puis sélectionner certains îlots avant de lancer la procédure d'enquête de terrain. Enfin, cette démarche d'ensemble demande quelques mises au point, à savoir le choix du transect comme unité d'échantillonnage, l'orientation, l'écartement, la sélection des individus enquêtés.

3.1. Le choix de l'unité d'échantillonnage : le transect

Si, dans le cadre des sondages spatiaux, on souhaite décrire l'ensemble des postes de l'occupation du sol d'un secteur, il convient de recourir à un tirage systématique non aligné des placeaux d'enquête pour constituer l'échantillon (Godard, 1991 ; Eastman, 1995). Celui-ci procure une répartition uniforme de l'échantillon sur l'ensemble du territoire tout en évitant les biais dus aux régularités présentes dans le paysage. En revanche, lorsqu'on s'intéresse à un seul poste de l'occupation du sol, caractérisé par des objets généralement petits, compacts et « mal » répartis et qu'en outre il convient d'en inventorier les zones de contacts externes et internes, alors il est pratiquement exclu que ce type de tirage, par points (ou apparentés), sélectionne un échantillon exploitable. De ce fait, nous avons eu recours à un tirage par transects.

La méthode dite « des transects » repose habituellement sur une batterie de droite parallèles régulièrement espacées qui traversent l'ensemble de la zone d'étude. L'enquête de terrain consiste à mesurer depuis le point de départ d'un transect, les distances pour chaque changement de physionomie, voire de faciès, rencontrés en traversant un îlot boisé. La nature du point de contact à l'entrée du bois est localisée puis renseignée, ainsi que celle du point de sortie. Ensuite, chaque transition à l'intérieur du bois est mesurée par rapport au point d'entrée. Les zones homogènes de part et d'autre de ces zones de transitions sont renseignées en terme de structure, strates, essences dominantes, abondance-dominance des espèces principales, mode de gestion...

Outre la qualification et la quantification des transitions, la méthode des transects permet d'évaluer les différents faciès, leur répartition et leur nombre, tout cela en l'absence de connaissances préalables du terrain. Elle permet également d'effectuer quelques calculs de ratios et donc de superficies pour les différents faciès rencontrés. Il est aussi admis qu'elle assure un contrôle minimal mais suffisant pour les traitements non supervisés en télédétection (Fournier et Gilg, 1985).

En revanche, toujours dans le cadre des traitements de télédétection, la méthode des transects fournit peu de pixels renseignés, l'enquête de terrain ne porte en effet que sur une bande étroite. De ce fait, elle ne permet que difficilement l'affectation des faciès aux pixels, affectation nécessaire à l'initialisation des traitements supervisés. Enfin, il faut particulièrement tenir compte, dans la méthode des transects, de problèmes de cheminement et d'évitement des obstacles dans l'affectation faciès-pixel. L'enregistrement du trajet à l'aide d'un positionneur par satellite de type GPS (Global Position System) est particulièrement recommandé.

Bien qu'il ne soit pas facile de recaler le terrain et l'image satellitale avec la méthode des transects, la possibilité de saisir les transitions (longueurs et formes) et d'indiquer entre quels faciès elles se produisent, font que nous avons retenue cette méthode d'investigation du terrain. Pour la mettre en pratique, il convenait de déterminer l'azimut des transects, leur espacement et leur nombre.

3.2. Orientation des transects

Le risque avec toute méthode systématique, est d'être victime d'une régularité du paysage qui n'aurait pas été décelée lors du tirage, entraînant une sur-représentation de certains postes de l'occupation du sol par rapport à d'autres. Pour éviter cet écueil, il a été choisi de tester les directions privilégiées du paysage. Directions qui sont fonctions de la forme du parcellaire forestier, des coupes, des layons...

Cette information est contenue dans l'imagerie satellitale de la zone d'étude. Pour l'extraire, nous avons recours à l'analyse de la transformée de Fourier qui transpose l'image dans l'espace des fréquences spatiales où « la représentation de la périodicité se fait sous forme linéaire, orthogonale à la direction de la périodicité dans l'image » (Robin, 1995 p. 215). Il en est ressorti que la direction la plus fréquente avait un azimut de 30° par rapport au Nord (**figure 3**). Nous avons donc orienté les transects perpendiculairement à cette direction, soit à 120° Est, pour sonder au maximum les phénomènes forestiers sous-jacents.

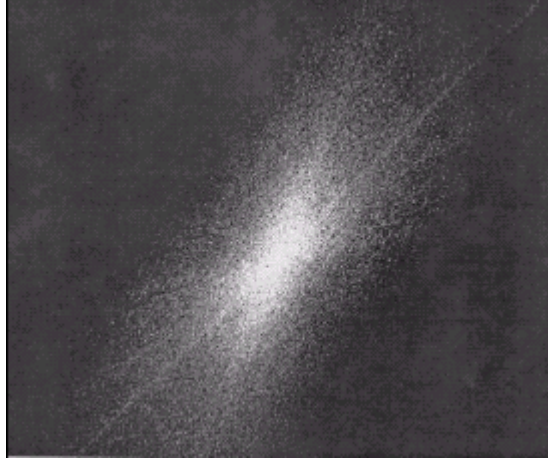


Figure 3. Transformée de Fourier calculée sur les îlots boisés du parc agro-écologique du Général Chlapowski (Grande Pologne).

Après avoir déterminé l'orientation des transects, il reste encore à définir leur espacement et leur nombre, avant de passer à la phase de terrain.

3.3. Nombre des transects

Nous avons insisté précédemment sur la relation qui existe entre la biodiversité et la compacité de l'îlot boisé. Or, cette dernière n'est pas évidente à appréhender, ni sur le terrain, ni sur l'imagerie. Il faut donc recourir à d'autres paramètres, corrélés à la compacité, plus facilement perceptibles. Parmi ceux-ci, la taille des îlots boisés est sans doute le plus simple. Reste à savoir, si pour le parc agro-écologique du Général Chlapowski (notre zone d'étude) la taille et la compacité des îlots boisés sont suffisamment corrélées pour pouvoir être substituées l'une à l'autre ? Si la corrélation est jugée suffisante, il sera alors possible de stratifier la population des îlots boisés en trois classes petits, moyens et grands îlots, puis d'échantillonner selon la taille et donc d'obtenir une bonne répartition des points d'enquête en fonction de la biodiversité supposée.

L'expérimentation a été tentée sur un découpage compatible avec celui de l'Inventaire Forestier National (IFN) français, à savoir : les bosquets, avec une surface comprise entre 5 et 50 ares ; les boqueteaux, avec une surface comprise entre 50 ares et 4 hectares ; et les forêts, avec une surface supérieure à 4 hectares (IFN, 1985 pp. 19-20). Par ailleurs, la résolution spatiale utilisée de 10 mètres de côté par pixel, n'apporte pas d'information sur les arbres épars ou toute surface inférieure à 5 ares.

En fait, l'extraction des îlots boisés devait être réalisée sur les mêmes données satellitales que celles qui ont servi à calculer la transformée de Fourier (cf. supra), pour des raisons de délais, ces extractions ont été menées sur les cartes topographiques au 1/50 000 numérisées. Ceci appelle deux remarques :

- d'abord, un décalage dans le temps. La date de mise à jour des cartes est plus ancienne (1992) que les données satellitales (1997) pratiquement contemporaines du terrain. Des différences sont donc à attendre entre enquête de terrain et données numérisées.

- ensuite, pour des raisons de représentation cartographique, l'existence, la taille et la localisation des îlots boisés sont subordonnées à la présence d'autres objets cartographiques en surimposition. Ceci explique peut-être que l'extraction des îlots boisés n'ait laissé que des objets de 9 pixels de côté minimum, soit 9 ares.

Dans la mesure où nous avons travaillé avec le logiciel Idrisi, l'indice de compacité (I_c), pris dans l'ouvrage de Claude Collet (Collet, 1992 p. 133), a dû être adapté aux caractéristiques d'une matrice carrée. Il est, dans notre exemple, de la forme suivante :

$$I_c = \sqrt{\frac{A_z}{\left(\frac{P_z}{4}\right)^2}}$$

avec A_z l'aire de l'îlot, P_z le périmètre d'un objet carré de même aire que l'îlot A_z . Il varie théoriquement de la valeur 1 qui représente un objet carré de compacité maximale, à la valeur 0 qui est un objet « sans surface » de longueur infinie. En pratique, certains corridors boisés peuvent avoir un indice approchant de 0. Ces remarques étant faites, il est maintenant possible d'analyser la relation existant entre la taille et la compacité des îlots boisés au sein du parc agro-écologique du Général Chlapowski.

Si l'on exclue les forêts (au sens de l'IFN), pour ne conserver que les îlots boisés, nous mettons en évidence une relation linéaire d'assez forte intensité ($R = 0,7$), entre la surface et la compacité, significative avec un risque d'erreur inférieur à 1 pour 1000. Il nous paraît donc intéressant de tenter une stratification en petits, moyens et grands îlots.

Pour cela, un recodage de la compacité des îlots a été effectué en fonction de leur taille sur les critères de l'IFN décrits précédemment. Ce recodage s'avère pertinent car les groupes se différencient nettement sur le critère de la compacité (**figure 4**). De plus, une analyse de variance, effectuée sur les groupes ainsi constitués, confirme que leur différence est significative avec un risque d'erreur inférieur à 1 pour 1000.

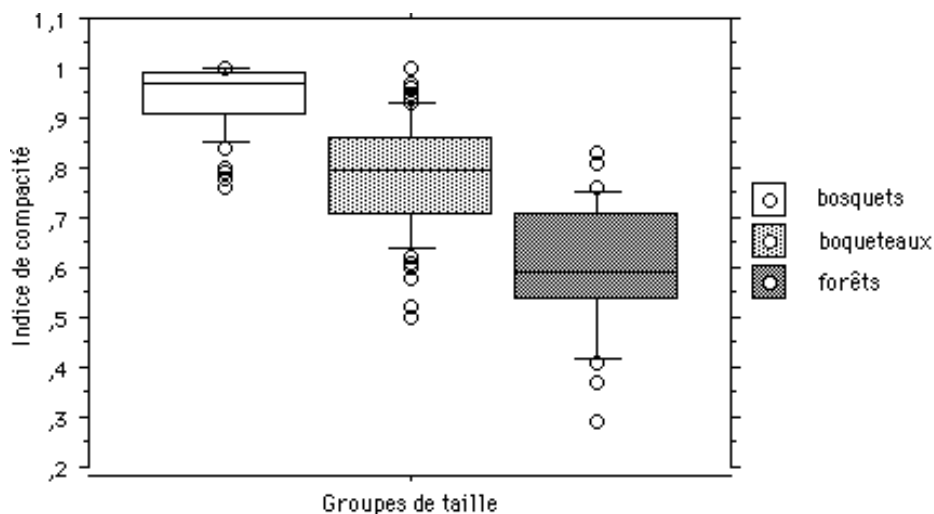


Figure 4. Compacité des îlots boisés selon 3 groupes de taille

Cette stratification donne la répartition suivante dans les limites du parc agro-écologique du Général Chlapowski : 101 bosquets, 94 boqueteaux et 34 forêts. Mais, il reste à constituer les échantillons à l'intérieur de chaque strate.

3.4. Répartition des transects

En ce qui concerne l'espacement des transects, l'imagerie satellitale peut, là encore, se révéler utile. La transformée de Fourier indique l'orientation des fréquences spatiales les plus élevées (**figure 3**), mais ne permet pas de connaître directement le pas (la distance) de la régularité affectant cet axe. Des méthodes relevant de l'analyse variographique ont été pratiquées à plusieurs reprises avec succès sur des zones d'études variées pour déterminer le pas d'échantillonnage précédant l'enquête de terrain (Godard, 1994 ; Fournier, Geroyannis et Godard, 1997). Elles ont été appliquées sur l'intégralité de la

zone d'enquête et sur l'ensemble des postes de l'occupation du sol, à la différence de notre terrain d'études de Pologne.

Après une analyse globale des distances entre îlots, les transects sont régulièrement espacés de 500 mètres, générant un tirage systématique aligné. Ainsi, 31 transects ont été tracés (**figure 2**) qui ont permis de tirer 93 segments de transects (c'est-à-dire, un morceau de transect qui traverse un îlot boisé). La répartition est la suivante : 22 segments pour la strate des bosquets et 34 pour celle des boqueteaux. Chaque segment traverse un seul îlot de son groupe. En revanche, le cas des forêts est un peu différent dans la mesure où le mode de tirage et l'intensité de sondage auraient abouti à une sur-représentation compte tenu de la surface des forêts. C'est pourquoi, nous avons éliminé de ce tirage les deux grands massifs forestiers, respectivement 328 ha et 164 ha, très peu représentatifs des autres îlots du groupe forêt. Nous avons donc augmenté la distance entre les transects, passant ainsi de 500 mètres à 1000 mètres, exclusivement pour cette strate. Au final, 9 segments ont été enquêtés sur les 34 îlots de cette strate.

Conclusion

La méthode d'inventaire par transect permet de saisir les contacts entre les formations forestières et leur environnement agricole mais également les contacts et les transitions entre les faciès constitutifs des îlots forestiers, ce que n'auraient pas permis les méthodes d'inventaire par placettes.

Cependant, l'affectation de données de terrain, collectées le long d'un transect, aux pixels de l'image satellitale n'est pas simple, car elles représentent une bande étroite d'informations dans le paysage. Il s'agit pourtant de l'exploiter au mieux pour dresser une typologie de la diversité des paysages forestiers du parc agro-écologique du Général Chlapowski. Ceci constitue un des axes de recherche de ce travail qui doit coupler enquête de terrain et imagerie satellitale. La méthodologie développée ici doit être reproductible et sera appliquée en France dans le Gâtinais en vue d'une comparaison.

Références bibliographiques

- COLLET C. (1992). – *Systèmes d'information géographique en mode image*. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, coll. Gérer l'environnement, n°7, 186 p.
- EASTMAN J.R. (1995). – *Idrisi, un SIG en mode image (Version 4.0 et 4.1)*. Lausanne, CRIF.
- FOURNIER Ph., GILG J.-P. (1985). – *Téledétection et observation terrain*. Toulouse, GDTA (cours du), 22 p. multigr.
- FOURNIER Ph., GEROYANNIS H., GODARD V. (1997). – « Analyse variographique de données satellitaires pour déterminer la taille des unités d'échantillonnage. Exemple d'un inventaire d'occupation du sol en milieu agricole et forestier ». *Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté. Cahiers de Géographie*, n°35, p. 85-89.
- GODARD V. (1991). – *Utilisation conjointe de la télédétection et de l'enquête de terrain lors des inventaires d'occupation du sol. Recherche appliquée au Sahel sud-mauritanien*. Thèse de doctorat en Géographie, EHESS, Maisons-Alfort, IEMVT, 433 p.
- GODARD V. (1994). – « Apport de l'analyse variographique pour déterminer la taille et l'espacement des unités d'échantillonnage lors d'un inventaire d'occupation du sol en milieu naturel tropical ». *Bull. SFPT*, 1994-4 (136), p. 33-44.
- HARRIS L.D. (1984). – *The fragmented forest : Island biogeography theory and the preservation of biotic diversity*. Chicago, The University of Chicago Press, 211 p.
- HOTYAT M., GALOCHET M., LIÈGE F. (1997). – « Petits bois et leurs lisières dans les plaines de grande culture : "entre nature et culture". Exemple pris dans le Gâtinais occidental ». *La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes*. Sophia Antipolis, éditions APDCA, p. 493-504.
- HOTYAT M., GALOCHET M., LIÈGE F. (1999). – « Structure et dynamique des îlots boisés : intérêt de l'étude multicapteurs et de l'analyse diachronique ». *Paysages agraires et environnement*, S. Wicherek (éd.), Paris, CNRS éditions, p. 357-370.

Version française de : GALOCHET (M.), GODARD (V.), HOTYAT (M.) – 2002 - Land Units and the Biodiversity of Forest Islets: From Satellite Images to Ground Analysis. Ed. by Lech Ryszkowski in : *Landscape Ecology in Agroecosystems Management*. Boca Raton, CRC Press : 317-330. (dernière version revue et corrigée le 7 décembre 1999)

- IFN (1985). – *But et méthodes de l'inventaire forestier national*. Paris, Ministère de l'agriculture, Service des forêts, 67 p.
- LE BRETON J.-M. (1994). – *L'Europe centrale et orientale de 1917 à 1990*. Paris, Nathan, coll. Fac. Histoire, 304 p.
- LE DU L. (1995). – *Images du paysage. Télédétection, intervisibilité et perception : l'exemple des Côtes d'Armor*. Thèse de doctorat de Géographie, Université Rennes-II, 334 p.
- MAC ARTHUR R.H., WILSON E.O. (1967). – *The theory of island biogeography*. Princeton, New-Jersey, Princeton University Press, 203 p.
- PAPY M. (1992). – « Effets des structures agraires sur le ruissellement et l'érosion hydrique ». *Bulletin Association des Géographes Français (BAGF)*, vol. 2, p. 115-125.
- RAMADE F. (1994). – *Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale*. 2^e édition, Paris, Edisciences International, 573 p.
- ROBIN M. (1995). – *La télédétection : des satellites aux SIG*. Paris, Nathan, coll. Fac. Géographie, 318 p.