



HAL
open science

Concepts et méthodes de l'écologie des paysages pour aider à mieux gérer les services écosystémiques

Marc Deconchat, Aude Vialatte, Antoine Brin, David Sheeren

► **To cite this version:**

Marc Deconchat, Aude Vialatte, Antoine Brin, David Sheeren. Concepts et méthodes de l'écologie des paysages pour aider à mieux gérer les services écosystémiques. Les services écosystémiques dans les espaces agricoles. Paroles de chercheur(e)s, pp.69-80, 2020, 10.15454/nwq9-zk60_book_ch07 . hal-02537000

HAL Id: hal-02537000

<https://hal.inrae.fr/hal-02537000v1>

Submitted on 8 Apr 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

07



Concepts et méthodes de l'écologie des paysages pour aider à mieux gérer les services écosystémiques

Marc Deconchat / UMR Dynafor

Aude Vialatte / UMR Dynafor

Antoine Brin / UMR Dynafor

David Sheeren / UMR Dynafor

La place des paysages, ainsi que celles du territoire, des échelles larges, du spatial qui incluent de multiples acteurs, prend de plus en plus d'importance dans les questions de développement durable. Dans cette présentation, j'apporte un point de vue d'écologue des paysages pour contribuer aux réflexions liant paysages et services écosystémiques (SE), sans prétendre être exhaustif.

Ma présentation est en trois parties :

1. un retour sur l'écologie des paysages, quelques grandes questions sur des fronts de recherche dans cette discipline et en quoi ces questions sont importantes pour les problématiques des services écosystémiques ;
2. je développerai ensuite pourquoi il convient de réfléchir autour des questions d'échelle et de la façon dont on les utilise en proposant quelques recommandations ;
3. je terminerai par des exemples tirés de nos travaux autour des petits bois et de la forêt dite rurale, la forêt paysanne.

Paysages et écologie des paysages : d'une évidence visible à un concept disciplinaire

Les paysages comme des niveaux d'organisation du vivant

D'un point de vue écologique, on peut voir les paysages comme des niveaux d'organisation du vivant où des écosystèmes différents (agricoles, aquatiques, forestiers...) sont en interactions (flux de matière et d'organismes). Ces occupations du sol sont habitées, produites, utilisées par tout un ensemble d'organismes, différentes espèces, dont les humains, qui sont l'une des espèces ingénieurs des écosystèmes les plus importantes parce qu'elle a modifié énormément ces occupations du sol. On constate facilement que cette hétérogénéité n'est pas aléatoire ; elle forme des patrons, des motifs qui vont se répéter plus ou moins régulièrement, plus ou moins nettement. Certains de ces motifs sont reconnaissables visuellement, d'autres nous sont invisibles sans une analyse. Ce qu'on appelle paysage est la répétition d'un motif d'occupation du sol. Cette hétérogénéité des structures est variable à différents niveaux, des plus fins aux plus larges. Entre ces différents niveaux, tout un ensemble de mécanismes conduisent à des rétrocontrôles. Dès lors qu'il y a des rétrocontrôles, on a des systèmes dits complexes où il est difficile de séparer l'origine des

structures et des fonctions. Est-ce que les structures permettent certaines fonctions ou est-ce que les fonctions créent des structures ? Cette dualité est très commune dans les sciences du vivant, mais est peut-être plus particulièrement prégnante dans les questions d'écologie des paysages (Forman et Godron, 1986).

Les paysages comme des systèmes sociaux et écologiques complexes

On peut voir aussi les paysages dans une autre dimension, sociale, qui a été largement abordée par des disciplines proches de l'écologie des paysages comme la géographie, l'ethnologie. En effet, les humains sont à peu près partout sur Terre et ont influencé tous les écosystèmes et façonné de nombreux paysages. On peut ainsi les voir comme une forme d'appropriation et de marquage de l'espace et de ses ressources par des populations humaines. C'est une façon d'aménager, d'organiser son espace, de la même façon que chez soi, on organise, on aménage son habitat, sa maison. C'est aussi l'expression d'une ingénierie écologique par les humains, pour gérer des ressources dont ils ont besoin et s'assurer que dans l'avenir, ils pourront continuer à en bénéficier. C'est aussi une façon d'aménager les espaces de façon à être en capacité de faire face à des événements rares, mais qui peuvent être assez dramatiques. On peut donc voir le paysage comme l'empreinte spatialisée d'un projet de territoire. Je vais utiliser le terme « territoire » au sens d'un territoire qui est le résultat d'un objectif d'habitants, de gens qui ont des envies, des besoins, des moyens, qui construisent un projet. D'une certaine façon, le paysage est l'expression physique de ce projet.

Landscape : spatial organization produced by a society in interaction with the environment to use and manage natural resources (European convention for Landscape).

Question de taille

Une première question sur laquelle il y a eu de nombreuses réflexions pour les services écosystémiques, alors même qu'elle me paraît très importante, c'est la question de la taille des parcelles. Beaucoup de travaux visent à évaluer un certain nombre de services écosystémiques sur des unités d'échantillonnage de petite taille, pour des raisons pratiques, mais on peut se poser la question de savoir si une grande parcelle va recevoir ou fournir les mêmes services écosystémiques que lorsque les unités sont beaucoup plus petites. En effet, l'écologie des paysages montre que pour de nombreux processus écologiques la taille des unités spatiales est déterminante, l'exemple le

plus connu étant les relations souvent vérifiées entre la surface d'un habitat et sa richesse en espèces. Est-ce qu'on peut avoir un parcellaire forestier ou agricole avec une certaine taille qui favoriserait le maximum de services écosystémiques ? Est-ce que ce sont forcément des petites parcelles ou des très grandes qui sont les plus favorables ? Comment doit-on définir les unités spatiales : par le couvert, par la propriété foncière, par les pratiques ? En écologie des paysages, ces relations géométriques sont extrêmement importantes pour un grand nombre de processus écologiques. La forme même d'un habitat peut en modifier fortement certaines propriétés écologiques, par exemple par les effets associés aux lisières qui peuvent concerner une proportion variable d'un milieu selon sa surface et sa forme (figure 1). Or, ces relations ont des conséquences écologiques qui déterminent de nombreux services écosystémiques, liés notamment à des déplacements d'espèces ou de matière. Je pense que cette question surfacique méritera d'être abordée à l'avenir.

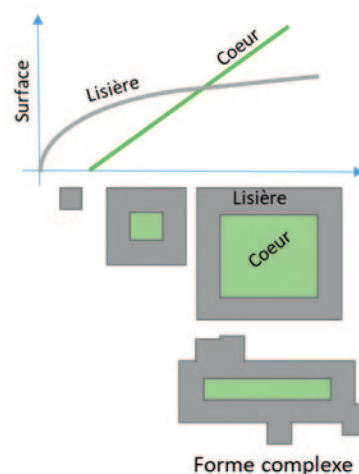


Figure 1. Relation entre la surface totale d'une parcelle et les surfaces des zones de lisières et de cœur. Avec des formes simples, il faut une surface totale suffisante pour que la surface de la zone de cœur surpasse la surface de lisière. Avec des formes plus complexes (schéma du bas), la surface de lisière reste plus élevée, à surface totale équivalente. Les processus écologiques dans les zones de cœur et de lisière peuvent être différents et influencer sur les propriétés globales de la parcelle.

Questions de flux

Le deuxième champ de questions concerne les flux, les déplacements. En effet, un certain nombre de services écosystémiques dépendent d'agents mobiles (Mobile Agent Based Ecosystem Services, MABES) (Kremen *et al.*, 2007), que ce soient des espèces, des prédateurs ou des pollinisateurs, qui vont se déplacer (figure 2). Ce concept de services écosystémiques basés sur des agents mobiles a été mis en avant en écologie des paysages. Pour certains services écosystémiques, on va vouloir ralentir ces flux (l'érosion, le vent). Dans d'autres cas, on va plutôt vouloir les favoriser, les accélérer et les intensifier. Ces questions de flux d'espèces ou de matières renvoient à des questions sur le rôle des interfaces. Que se passe-t-il dans les interfaces

entre les différentes occupations du sol dans les paysages tempérés où l'hétérogénéité est à la base de discontinuités ? Est-ce que ce sont les mêmes types d'interfaces ? Comment modifie-t-on ces interfaces ? Quelles sont celles qui vont être les plus favorables aux flux qui nous intéressent ?

Une autre question de flux concerne la connectivité dans les paysages. Comment organise-t-on les interdépendances spatiales entre les différentes composantes d'un paysage qui vont favoriser ou non la circulation d'un certain nombre d'éléments que l'on considérera comme positifs ? Cette question est importante dans la perspective des dynamiques à long terme et de l'évaluation de la résilience des systèmes face à des perturbations. Est-ce qu'en ayant des systèmes qui sont connectés d'une certaine façon, on s'assure que, s'il y a une faiblesse ponctuelle, suffisamment mais en évitant une trop forte inter-connexion, à un moment donné, on pourra, grâce à cet ensemble de connexions, reconstituer un certain nombre des propriétés qui sont intéressantes ou souhaitées ?

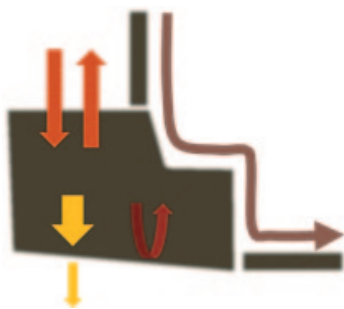


Figure 2. Les interfaces entre les milieux influent sur les flux d'espèces, de matière et d'énergie. Elles sont neutre si les échanges sont équivalents (flèches orange), filtrantes si les flux sont modifiés (flèches jaunes), imperméables si les flux sont stoppés (flèches rouges). Les interfaces forment aussi des corridors qui guident certains flux (flèches marron). Les services écosystémiques liés à des agents mobiles peuvent être influencés par ces interfaces.

Questions de cartes

L'écologie des paysages vise aussi à être en mesure de proposer des représentations à la fois pertinentes et efficaces des relations sociales et écologiques entre les différents éléments qui constituent le paysage, de dresser des cartographies au sens large. En écologie des paysages, les « cartes » sont vues parfois comme des entrées des modèles que l'on utilise ou comme des sorties des modèles que l'on produit, et on peut même les voir en elles-mêmes comme étant le modèle, c'est-à-dire ce qui apporte et véhicule l'information pertinente. Cela pose la question de la représentation des données spatialisées qui peut prendre de multiples formes. Outre les représentations vectorielles ou raster, on peut aussi représenter certaines données spatiales sous forme de réseaux, ce qui est parfois beaucoup plus pertinent. On peut aussi imaginer de développer des cartes interactives subjectives, ce qui commence à se faire. L'utilisateur de la carte

est au centre et dans la carte, il voit les informations qui lui sont pertinentes à un moment donné. L'un des exemples les plus connus est Street View de Google. Ce concept peut être utilisé aussi pour des questions d'écologie. On peut imaginer des cartes multidimensionnelles dans lesquelles on pourrait naviguer, exploiter de l'information spatialisée dont la nature serait dépendante d'un contexte particulier, d'un certain point de vue. Il y a aussi beaucoup de réflexions autour de l'incertitude des données spatialisées. Comme toutes données, les données spatialisées ont une certaine incertitude et, jusqu'à maintenant, on ne sait pas très bien comment utiliser cette incertitude et la mobiliser dans les représentations cartographiques que l'on en fait. L'une des pistes est la possibilité de cartes « floues » pour rendre compte de cette incertitude.

Les questions d'échelles au cœur des démarches d'écologie des paysages

Recommandations pour un meilleur usage de la profusion de données spatialisées

Le constat est que nous sommes face à des évolutions technologiques en termes de données spatiales. On a une profusion de nouvelles données spatialisées qui sont accessibles, de plus en plus précises, de plus en plus fréquentes. Les nouveaux satellites, comme la constellation des Sentinelles (programme Copernicus), vont apporter des informations dont on ne pouvait rêver il y a quelques années. Il y a une véritable révolution technologique en termes de disponibilité des données spatialisées. L'écologie des paysages peut se féliciter de cette évolution. Dans le même temps, les logiciels pour les utiliser sont de plus en plus pratiques, de plus en plus accessibles. Vous pouvez avoir maintenant sur votre téléphone quasiment l'équivalent d'un logiciel comme ArcInfo, pour ceux qui s'en souviennent.

On assiste à un développement sans précédent de l'utilisation des données spatialisées. C'est une bonne chose, c'est un atout évident pour l'écologie des paysages. En même temps, notre constat, avec mes collègues, est qu'il faut vraiment faire attention à la façon dont on justifie les opérations sur ces données et la signification de ce que l'on en tire. J'ai fait le choix de vous apporter quelques éléments de ces réflexions autour des échelles spatiales, des échelles temporelles et des échelles thématiques et vous verrez que, partant de considérations assez techniques et pratiques, finalement, lorsqu'on creuse un peu ces questions, on aboutit à des réflexions ou à des propositions un peu plus conceptuelles.

Échelle spatiale : grain et étendue

Qu'est-ce qu'une échelle ? C'est un grain et une étendue.

Le **grain**, c'est assez simple, c'est la résolution (ou niveau de détail). Selon le type de grain utilisé, le niveau, la qualité et la pertinence de l'information seront différents. Il faut retenir que le grain le plus fin n'est pas forcément le plus pertinent pour les questions que l'on souhaite traiter. La deuxième dimension de l'échelle est l'étendue. On peut s'intéresser à une petite portion de l'espace ou à une portion plus grande. Lorsqu'on élargit l'**étendue**, on voit apparaître des choses qui apportent une information que l'on n'avait pas à une étendue plus réduite. Ce choix de l'étendue est très souvent largement sous-estimé dans la conception et l'utilisation des données spatialisées.

L'une des difficultés qui se pose aujourd'hui est que l'on combine de plus en plus des sources de données spatialisées d'origines différentes qui correspondent à des échelles différentes et qui ont donc des grains et des étendues qui peuvent être très différentes. Les utilisateurs ne sont pas toujours avertis de ces différences et des conséquences qu'elles peuvent avoir dans le traitement, quand ils vont combiner ces différentes données. Par ailleurs, pour un certain nombre de données, les grains et les étendues ne sont pas explicites. Lorsque les données sont de type vectoriel, vous pourrez zoomer tant que vous voulez, vous verrez toujours le trait. Pourtant, derrière ces données, il y a aussi un grain, une résolution à laquelle cette information a été collectée (ce que les anglos-saxons appellent le *minimum mapping unit*). Il faut donc faire attention à ces points. Pour compliquer un peu la réflexion, on peut aussi considérer que le grain peut être un objet. Il peut être par exemple les parcelles agricoles. Quand on combine des parcelles agricoles avec des pixels, qu'est-ce qu'on en fait ? Dans quels cas est-ce légitime, dans quels cas va-t-on « inventer » de l'information spatiale ? Comment croiser ces informations ? Cela pose des questions en termes de géomatique qui ne sont pas triviales et peuvent être sources de mauvaises interprétations des données.

Un exemple fréquent de cette mauvaise interprétation se rencontre quand on vous dit que la classification qui a été obtenue avec des données satellites, par exemple, est bonne à 98 %, pour une carte régionale. Bien souvent, l'utilisateur lambda va zoomer à un endroit particulier et va dire que la carte n'est pas bonne car le bois ou la parcelle qu'il connaît bien n'est pas bien représenté sur la carte. C'est une erreur conceptuelle importante que l'on fait facilement. En effet, la qualité de la carte globale ne dit rien sur la qualité locale de l'une de

ses sous-parties, et réciproquement. Il ne vient pas à l'esprit que dix individus particuliers pris au sein d'une population composée d'un grand nombre d'individus aient les mêmes propriétés statistiques que cette population. Pourtant, c'est ce que l'on fait assez fréquemment avec les données spatiales. Cela conduit aussi à se dire que pour un certain nombre de données spatialisées, on sera systématiquement obligé d'avoir des adaptations locales. Il est illusoire d'utiliser, à l'aide de zooms, des cartes d'occupation du sol faites à l'échelle nationale pour traiter de problèmes très locaux car il est probable que l'extrait d'un jeu de données global ne soit pas bien adapté à des questions locales. On retrouve un lien avec la difficile question de l'utilisation des incertitudes dans les données spatialisées et de la façon dont elles se répercutent selon les échelles.

Variables paysagères versus changement d'échelle

Une autre utilisation un peu abusive des questions d'échelle que l'on trouve beaucoup dans la littérature est le fait de confondre les variables paysagères avec des changements d'échelle. On trouve dans la littérature beaucoup de travaux qui s'intéressent à des buffers (zones tampons en français) de taille croissante autour de points d'observation. On va caractériser le paysage sur une zone, puis on va le caractériser sur une zone encore plus grande, puis sur une zone encore plus grande, etc. On a à chaque fois un *buffer* différent, une description d'un espace paysager différent (figure 3). Souvent, on dit que l'on a changé d'échelle et on cherche l'effet d'échelle (scale of effect) c'est-à-dire, le buffer qui montre la meilleure corrélation avec l'indicateur de biodiversité étudié. Je considère que l'on n'a pas changé d'échelle, on a surtout changé de variable. Le changement d'échelle intervient lorsqu'on change les unités statistiques, par exemple quand on va les agréger.

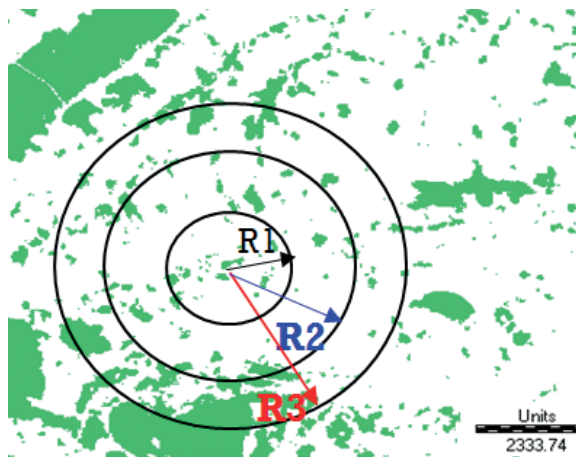


Figure 3. Le changement de variables pour caractériser le paysage autour d'un point d'observation. Le point d'observation, au centre des cercles, est caractérisé par des variables paysagères mesurées sur des zones définies par le rayon (R). Ces variables ne correspondent pas à un changement d'échelle.

La dépendance d'échelle dans la relation prédateur-proie

Pour illustrer ce que sont les changements d'échelles, j'ai pris dans la littérature un exemple qui montre bien la dépendance d'échelle et qui renvoie clairement à l'importance de parcourir plusieurs échelles, comme le propose l'écologie des paysages. Ces travaux visaient à établir la relation entre la présence des prédateurs et la présence de leurs proies. Le dispositif, très lourd, a consisté à échantillonner des points très petits dans lesquels la présence du prédateur et celle des proies étaient mesurées. Puis, ce dispositif était emboîté dans plusieurs niveaux d'agrégation des points d'observation (figure 4a). Là, on a un changement d'échelle et on voit ce qu'est une dépendance d'échelle. À une échelle très fine, c'est-à-dire une faible étendue et un grain très fin, comme on peut s'y attendre les proies évitent les prédateurs (figure 4b). Il y a un ensemble de mécanismes comportementaux qui fait que plus il y a de prédateurs, moins il y a de proies. À une échelle beaucoup plus large, lorsque l'on agrège un certain nombre de points et que le grain est un ensemble d'observations, par exemple des vergers sur une grande région, la relation est différente (figure 4c). Elle est même complètement opposée et assez logique aussi. Lorsqu'il y a des proies, les prédateurs ne sont en général pas très loin : c'est à l'endroit où il y a le plus de proies qu'ils ont le plus de chance d'en trouver. On voit bien que la possibilité de faire des changements d'échelle implique des dispositifs d'échantillonnage assez lourds qui permettent de faire ces agrégations. Cela montre aussi qu'en parcourant plusieurs échelles, on a des informations différentes, mais aussi, ce qui n'apparaît pas là, que si l'on n'est pas du tout à la bonne échelle et que l'on est dans un niveau intermédiaire de grain et d'étendue, il y a toute chance que l'on ne voie rien dans la relation entre les prédateurs et les proies.

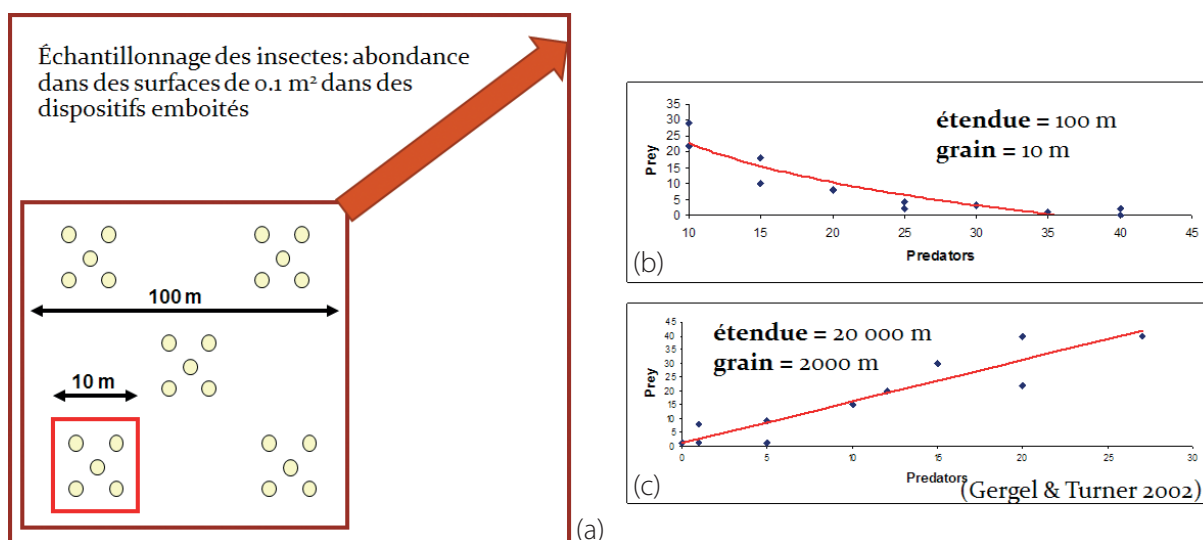


Figure 4. La dépendance d'échelle dans la relation prédateur-proie. (a) échantillonnage à différentes échelles (b) relation prédateur-proie sur une faible étendue et un faible grain (c) relation prédateur-proie sur une grande étendue, avec un grain large. La forme de la relation prédateur-proie dépend de l'échelle d'analyse qui rend compte de processus écologiques différents ; à une échelle intermédiaire, aucune relation ne serait identifiable. D'après Gergel & Turner, 2002.

Importance du temps long

Lorsqu'on s'intéresse à des paysages, on est sur des échelles spatiales plutôt larges. Une relation classique entre les échelles spatiales et les échelles temporelles nous amènerait à nous intéresser à des échelles temporelles plutôt longues. Il s'agit d'aller regarder du côté de l'histoire, de se projeter dans le futur en termes de scénarios et donc d'évaluer la dynamique des services écosystémiques, de voir à quelle vitesse ils se mettent en place, s'ils vont être non résilients face à des perturbations, s'ils favorisent même la résilience des systèmes. Globalement, je pense que nous sommes loin d'avoir cette approche, notamment en termes de services écosystémiques, lorsqu'on s'intéresse à des facteurs paysagers. En effet, souvent, on a des informations très détaillées, sur des périodes de temps relativement courtes (une ou deux années), et à partir de cela on essaie d'inférer des relations avec des variables paysagères, des changements d'organisation du territoire, alors même qu'il faudrait des dispositifs à des échelles de temps différentes. Bien sûr, c'est très compliqué parce qu'on ne peut pas maîtriser ni manipuler le temps, comme on peut le faire avec l'espace. Pour traiter ces questions, je pense que le plus pertinent est la combinaison

- › de sites d'études à long terme pour un suivi, pour capitaliser de l'information et avoir la profondeur historique,

- › intégrés dans des réseaux offrant des possibilités de comparaison,
- › d'approches de modélisation, plutôt de type « modélisation de pattern ».

Échelles thématiques

Les troisièmes échelles à prendre en considération sont les échelles thématiques. Il y a plusieurs façons de décrire les différents objets qui vont constituer les différentes occupations du sol. On peut faire varier la gamme des états dans laquelle on va les décrire, par exemple en s'intéressant à toutes les occupations du sol ou juste à celles qui sont forestières. C'est ce qui correspond à l'étendue en termes thématiques (ou précision sémantique). Puis, on peut être plus ou moins fin dans la description, avec par exemple trois classes d'occupation du sol ou plusieurs centaines. L'analyse, l'interprétation, la compréhension et la pertinence de ces données vont être différentes. Ce choix, encore plus que la résolution spatiale, a les plus lourdes conséquences sur les modèles écologiques et il faut sans doute y réfléchir.

Nous avons tendance à décrire notre espace selon la façon dont nous, humains, le voyons. Par exemple, le territoire d'une exploitation agricole sera caractérisé en termes de parcelles, de propriétés, d'occupations du sol que nous percevons en tant qu'humains. Mais les organismes qui sont le support d'un certain nombre de services qui nous intéressent ont un autre découpage de l'espace (figure 5). Ils ont d'autres entités qui nous sont imperceptibles. Il y a donc une hétérogénéité masquée que nous ne voyons pas et qui est en général celle qui est la plus pertinente pour les processus écologiques qui nous intéressent. C'est de celle-là qu'il faut tenter de rendre compte. On parle ainsi parfois de désaccord d'échelles entre celles qui sont utilisées pour l'étude et la gestion des processus écologiques, et celles qui sont effectivement pertinentes pour rendre compte de ces processus convenablement.

Territoire d'une exploitation agricole

Territoire d'une population de carabes



Figure 5. Le découpage de l'espace peut être fait selon les perceptions humaines ou celles des autres organismes vivants sur le territoire (Deconchat & Thenail, 2014).

Voir le paysage avec les yeux d'un oiseau

Dans la perspective de s'affranchir des points de vues et échelles anthropocentrés, nous avons conduit quelques travaux qui rejoignent des idées émergentes dans l'utilisation des données de télédétection. La démarche indirecte habituelle pour prédire la diversité d'espèces, comme les oiseaux dans notre cas, utilise des données satellites pour produire une carte d'occupations du sol, où l'on retrouve les forêts, le blé, le maïs, le milieu humide, etc. À partir de cette carte d'occupations du sol, on calcule certaines métriques mises en relation avec les observations d'oiseaux, puis on produit un modèle de distribution des oiseaux en fonction de ces paramètres. L'hypothèse que l'on a commencé à tester est que l'on peut éviter cette carte d'occupations du sol qui est le regard anthropique porté sur le paysage (Sheeren *et al.*, 2014). On peut utiliser l'ensemble des données spectrales, texturales ou autres qui sont contenues dans les données satellitaires pour établir directement une relation entre la présence de nos espèces et les données satellites pour produire des modèles de prédiction dans lesquels il n'y pas (ou moins) d'a priori anthropiques sur la façon de décrire l'espace. Il s'agit de passer d'une vision où l'on essaie de prédire la distribution des espèces, mais dans un paysage qui est notre paysage, à une prédiction des espèces dans le paysage tel qu'il serait vu par l'espèce ou les organismes qui nous intéressent (figure 6). Je pense que c'est un changement conceptuel assez important, intéressant et riche.

Vers une estimation directe de certains services par télédétection

En partant de l'idée de prendre le point de vue des organismes qui nous intéressent, on peut imaginer de prolonger cette idée et de « mesurer directement » un certain nombre de services écosystémiques, ou au moins les cartographier. L'idée est qu'il est peut-être possible d'obtenir des modèles prédictifs (pas nécessairement explicatifs) de services écosystémiques à partir de données satellitaires sans passer par une étape de cartographie des occupations du sol ou du moins, pas de façon supervisée (en fixant des a priori). Cela pourrait être utile sur de très grandes étendues pour avoir des évaluations globales ou repérer des zones avec des comportements particuliers. Un projet est en cours dans notre laboratoire avec cette perspective, il vise à faire un lien direct entre des données de télédétection et un niveau de réalisation de services écosystémiques de régulation et de pollinisation, mais sans passer par l'étape de la cartographie des occupations du sol.

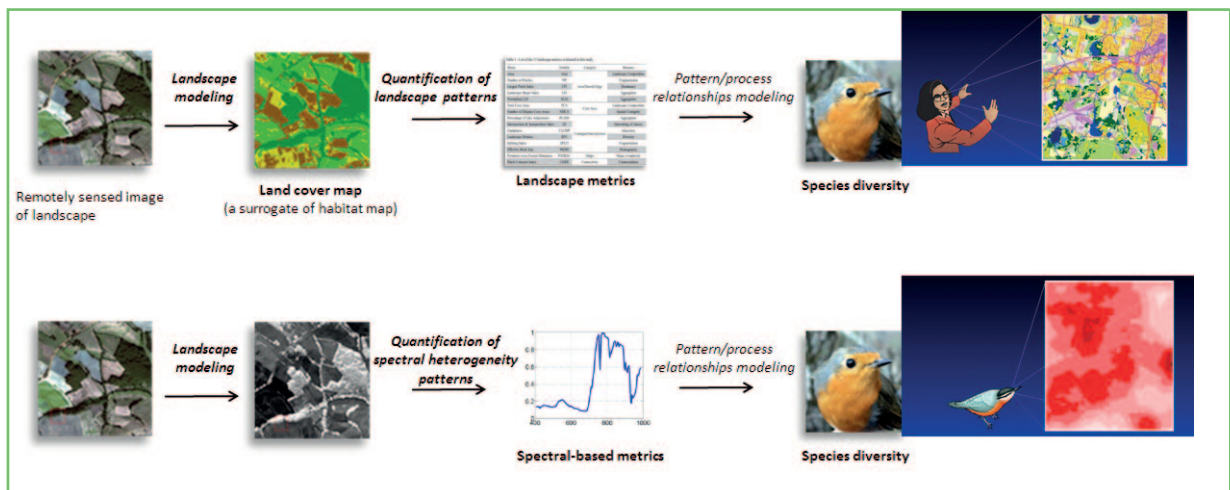


Figure 6. Ligne du haut : Méthode classique indirecte de modélisation de l'occurrence d'espèce à partir de donnée satellitaires en passant par une étape de création d'une carte d'occupation du sol et extractions de métriques paysagères. Ligne du bas : Méthode directe de modélisation de l'occurrence d'espèces à partir de données satellitaires sans passer par une carte d'occupations du sol, en prédisant l'occurrence à partir des métriques spectrales des images (Sheeren et al., 2014). La méthode directe limite l'introduction du point de vue anthropique lié à la définition de la carte d'occupations du sol.

Des petits bois qui rendent bien des services : Exemples issus d'une démarche interdisciplinaire sur un site d'étude intégrée

Nos sites d'études se situent dans les coteaux de Gascogne (figure 7). C'est une région vallonnée avec un bocage assez lâche et une agriculture de polyculture et d'élevage. Rien de très performant ni de très marquant dans l'activité agricole, mais une zone à déprise agricole moins forte. Il y a une forme de résilience des paysages. Les petits bois, essentiellement privés, sont très nombreux dans ces paysages en contact direct avec l'agriculture. Contrairement à ce que l'on peut observer dans d'autres paysages comme dans le nord de la France, ces petits bois sont sur des terres qui pourraient très bien, pour un grand nombre d'entre elles, être cultivées. Ce ne sont pas toujours les endroits les moins fertiles ou des endroits où il y a des problèmes de relief ou d'accessibilité. Finalement, ces bois pourraient très bien avoir été convertis en agriculture. Pourtant, ils sont toujours là et depuis longtemps. On s'est donc demandé pourquoi. Il semble, d'après les organismes de conseil forestiers, que ce ne soit pas pour des raisons sylvicoles car, dans bien des cas, la gestion mise en œuvre est très peu interventionniste et ne produit pas les revenus qu'une gestion plus active pourrait générer. Les propriétaires de ces bois semblent donc les conserver et les gérer sans viser une rentabilité pourtant apparemment assez facile à obtenir. Comment expliquer ce paradoxe ?

Bien sûr, cela varie fortement entre les propriétaires et certains ont des actions de gestion plus ou moins élaborées.

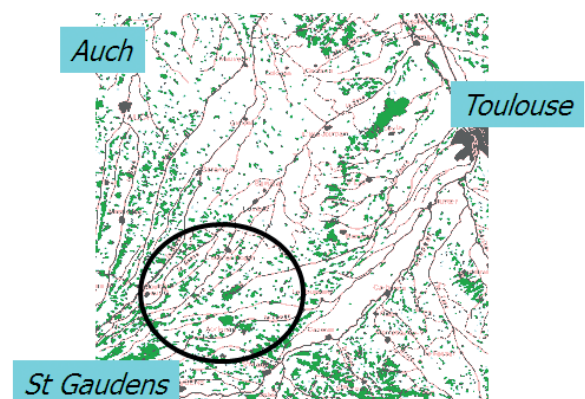


Figure 7. Localisation des sites d'étude dans les coteaux de Gascogne. Les taches vertes représentent les bois dans la matrice agricole en blanc.

Démarche systémique interdisciplinaire

Pour répondre à ces questions, nous avons engagé une démarche systémique interdisciplinaire en nous disant que l'on avait :

- › des systèmes spatiaux formés par l'organisation spatiale et temporelle des occupations du sol qu'il fallait caractériser.
- › des systèmes écologiques qui renvoient à la biodiversité, aux arbres, à leur croissance, à leurs propriétés biologiques, étudiés avec des compétences d'écologues.
- › des utilisateurs de ces ressources qui exploitent ces systèmes écologiques, qui dépendent des systèmes spatiaux et qui modifient ces systèmes. Ils forment des systèmes socio-techniques.

Bien sûr, ces systèmes sont à différentes échelles spatiales et temporelles qu'il faut parcourir pour rendre compte des structures de ces différents systèmes, suivre leur dynamique et se projeter dans des scénarios avec les acteurs concernés. Pour cela, il faut mobiliser des disciplines différentes (des

chercheurs en télédétection et en géomatique, des écologues, des entomologistes, des sylviculteurs, des agronomes, des ethnologues).

Effets de la fragmentation forestière sur la biodiversité

Avec ces dispositifs, nous avons caractérisé la fragmentation forestière et sa dynamique, qui suit des histoires assez différentes selon les secteurs (figure 8). Des travaux antérieurs avaient montré en quoi certains massifs assez grands s'étaient fragmentés, même encore récemment, et qu'aujourd'hui ils étaient plutôt dans une phase de défragmentation. On voit se reconstituer aujourd'hui des massifs un peu plus grands. Des travaux de géographie, toujours en cours, ont caractérisé ces processus de fragmentation-défragmentation en montrant que la trajectoire n'était pas toujours la même. Ils ont identifié des trajectoires d'évolution de ces paysages.

Par la suite, nous avons montré qu'il y avait des relations entre les caractéristiques morphologiques de ces fragments leur isolement, et leur biodiversité. La relation la plus classique est celle qui lie la surface de ces fragments et leur richesse en espèces. La relation retrouvée pour les oiseaux (figure 9) est assez classique dans la littérature, mais, plus surprenant, nous avons trouvé le même type de relation avec les arbres (figure 10). Pourquoi plus surprenant ? Parce que les arbres étant des ressources gérées par les propriétaires de ces forêts, on s'attendait plutôt à ce que la diversité ne varie pas en fonction de la taille des bois ou arrive assez rapidement à un plateau correspondant aux essences cibles de la gestion. Cela ne semble pas être le cas, il y a donc encore des processus qui favorisent cette diversité en fonction de la surface des bois.

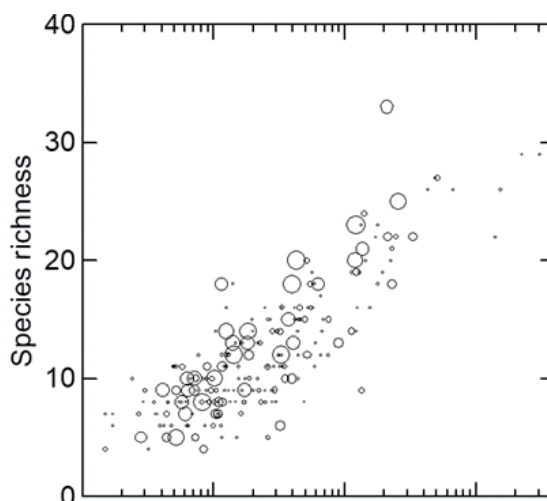


Figure 9. Richesse spécifique des oiseaux selon la surface des fragments boisés dans les coteaux de Gascogne (Monteil et al., 2005).

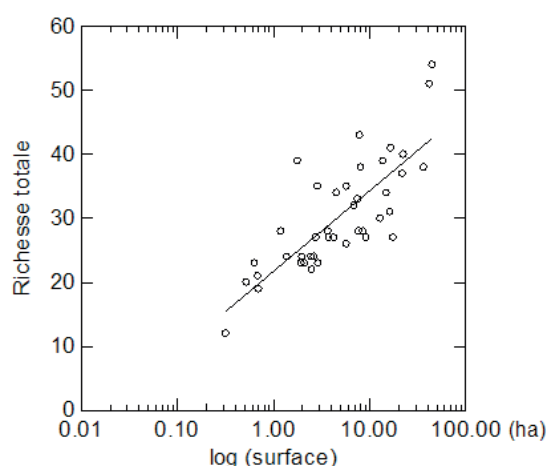


Figure 10. Richesse spécifique en ligneux selon la surface des fragments boisés dans les coteaux de Gascogne (Gonzalez et al., 2010).

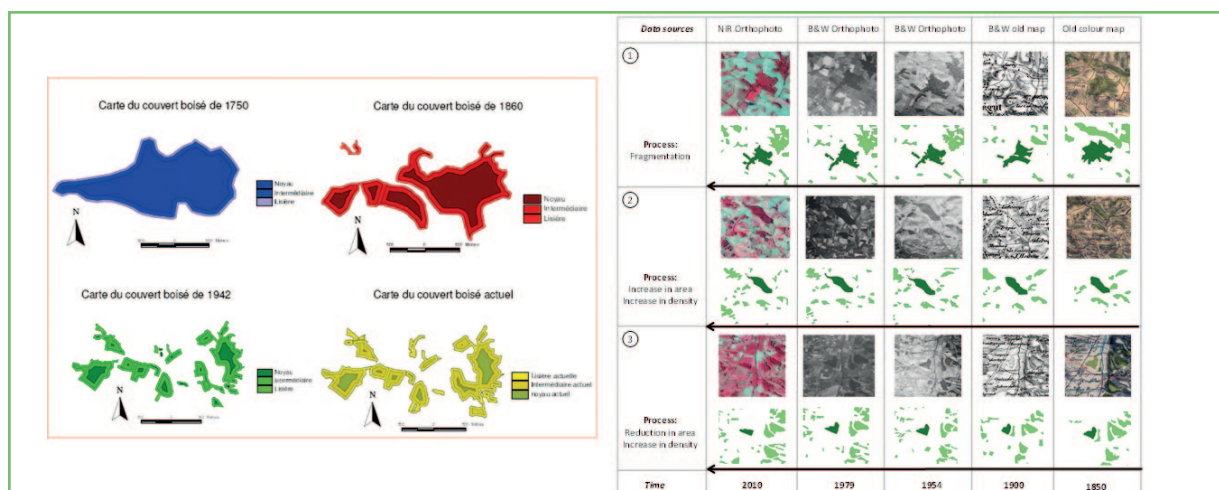


Figure 8. Caractériser la fragmentation et sa dynamique. À gauche, un exemple de reconstitution de la dynamique spatiale d'un petit bois qui a été fragmenté et dont les fragments sont maintenant en cours d'expansion. Cet exemple illustre la complexité induite par des fragments ayant des trajectoires historiques différentes (Andrieu et al., 2011). À droite, une proposition de classification de trajectoires d'évolutions de fragments forestiers (Herrault et al., 2015).

Un système social traditionnel dit « à maison » aux règles encore très vivaces

Ce qui a été le plus intéressant, le plus révélateur et sur lequel je voudrais attirer l'attention, a été le travail avec les ethnologues. Au cours de cette étude, les ethnologues se sont rendu compte que l'on avait un système social traditionnel, qui s'appelle le système « à maison », qui a des règles très particulières et qui est encore très vivace dans le site d'étude. Une de ces règles particulières, que l'on ne trouve pas dans le nord de la France, est que la transmission de la maison, de l'ensemble des ressources, se fait à un héritier unique, en général le fils aîné. L'un des autres fils devenait éventuellement ouvrier sur l'exploitation agricole, les autres partaient comme cadets de Gascogne, comme ce fut le cas pour le personnage de d'Artagnan chez les mousquetaires. Les filles, système patriarcal oblige, n'avaient d'autre avenir que de trouver à se marier ailleurs. C'était une règle sociale extrêmement forte. L'objectif était de conserver la maison dans son ensemble, dans son intégrité et de la transmettre telle quelle. La maison, c'est l'ensemble des ressources biologiques, des surfaces, des bâtiments, mais ce sont aussi tous les symboles et le statut social qui y est associé sur la commune, ainsi que les devoirs envers les autres maisons (entraide). Ce système social est illégal depuis la Révolution. On ne peut plus transmettre à un héritier unique. Pourtant, les ethnologues nous ont montré que ce système se maintient par des voies détournées et l'on peut retrouver encore aujourd'hui quasiment les mêmes contours des maisons que ceux d'il y a deux cents ans.

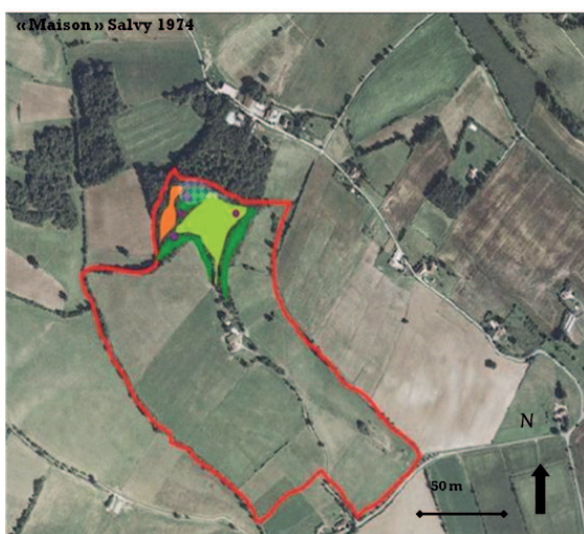


Figure 11. Un exemple de l'utilisation des surfaces à la « Maison » Salvy. Les limites du territoire de la maison sont marquées par le trait rouge, la maison d'habitation est au centre, les haies sur les limites sont préservées des défrichements. Le bois en haut du territoire est utilisé pour de plusieurs usages (bois d'œuvre, de chauffage, pâturage, chasse, champignon...) identifiés par les couleurs et qui produisent une hétérogénéité interne fine.

Une recherche d'autonomie des fermes par la diversité des ressources

L'une des règles sociales fortes pour les gens qui avaient ces maisons était qu'ils recherchaient une forme d'autonomie des maisons. Chacune des maisons devait avoir à sa disposition la diversité des ressources dont elle avait besoin : des ressources forestières, des ressources en prairies, des ressources cultivables (figure 11). À l'intérieur de chacune de ces ressources, il y avait encore un niveau de raffinement et de diversité parce qu'il leur fallait toutes les ressources. Dans la partie forestière, le propriétaire est capable de dire que telle partie lui sert pour les champignons, telle autre pour son gibier et telle autre pour son bois de chauffage, même si les situations ne sont pas optimales pour produire ces ressources. C'est l'une des explications du fait que ces petits bois restent dans ces paysages. Chacun voulait avoir près de chez lui l'ensemble de ces ressources, même s'il aurait pu faire de cette terre autre chose de plus productif en optimisant la production et en la convertissant en terre agricole.

Des pratiques forestières particulières qui lient forêts et agriculture

Une autre conséquence de ce système social est que les limites de ces maisons ont une importance particulière dans la culture des gens qui habitent dans cette région. À ce titre, l'importance des haies n'est pas la même selon qu'elles sont à l'intérieur de ce contour ou qu'elles forment cette limite. D'un point de vue écologique et agronomique, on peut se dire qu'une haie est de même nature ou de même importance qu'une autre, mais du point de vue du gestionnaire, il ne touchera jamais à celle qui fait la limite avec son voisin parce qu'elle est un marqueur social, rôle qu'elle n'a pas lorsqu'elle est à l'intérieur du territoire de l'exploitation agricole où elle n'a qu'un rôle agronomique. Nous avons approfondi ces questions en nous intéressant aux pratiques forestières dans ces forêts. Nous avons constaté qu'il y avait des pratiques forestières particulières et notamment au niveau des lisières et des interfaces avec l'agriculture. Il y a des pratiques forestières qui sont autant tournées vers les finalités forestières — on a besoin de produire du bois — que tournées vers des finalités agricoles. On a besoin d'entretenir les bois parce que cela a des conséquences sur l'agriculture. À ce titre, la lisière l'illustre assez clairement puisqu'on y produit du bois de chauffage pour l'exploitation agricole, qu'on a maintenu et ravivé la limite qui sépare deux propriétés et que par la coupe on contrôle l'expansion de la végétation forestière sur les parcelles agricoles voisines.

L'entretien des lisières donne lieu à des coupes forestières particulières, sur la limite, qui répondent à des besoins en bois et d'entretien des abords des parcelles agricoles (figure 12).



Figure 12. Exemple de coupe dans les coteaux de Gascogne.

Les bois, sources de carabes pour l'agriculture

Nous avons voulu approfondir cette question de ces interfaces et de comment elles jouent de multiples rôles du point de vue de l'agriculteur. Quels services ces interfaces rendent-elles à l'agriculteur ? On s'est donc intéressé à la biodiversité dans les lisières, notamment à travers les carabiques.

Les carabes (s.l.) sont des prédateurs utiles à l'agriculture et sont ainsi des auxiliaires des cultures puisqu'ils consomment des limaces et des pucerons. On sait déjà qu'un certain nombre de ces carabes peuvent passer une partie de leur temps en forêt et une partie dans les cultures. On a donc installé des pièges classiques, des pièges Barber d'interception, dans lesquels tombent les carabes lors de leurs déplacements au sol, le long de transects dans plusieurs bois. Effectivement, on a trouvé les carabes dits forestiers très abondamment en forêt, mais aussi dans les parcelles agricoles adjacentes (figure 13), qui plus est à la saison la plus pertinente pour pouvoir jouer un rôle de régulation sur un certain nombre de ravageurs. Cela a éventuellement un effet positif. On constate en outre qu'il n'y a pas de carabes des parcelles agricoles qui seraient venus se « perdre » dans la forêt, ce qui aurait été une perte pour l'agriculture en termes de régulation des ravageurs. Les carabes de milieu agricole n'entrent quasiment pas dans la forêt. À priori, la forêt est plutôt un milieu qui fournit des auxiliaires pour les cultures voisines.

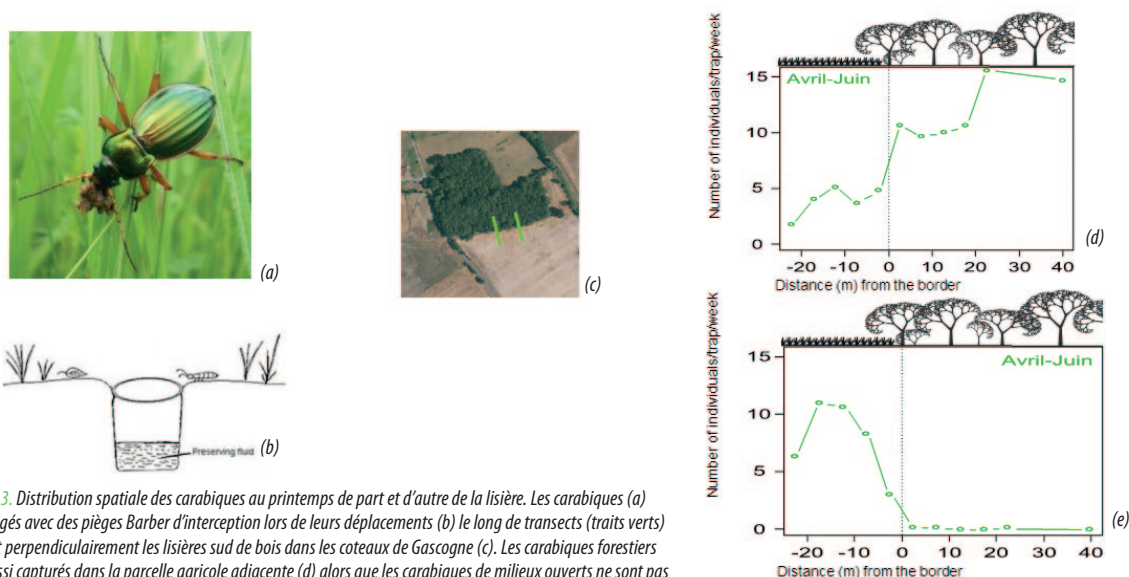


Figure 13. Distribution spatiale des carabiques au printemps de part et d'autre de la lisière. Les carabiques (a) sont piégés avec des pièges Barber d'interception lors de leurs déplacements (b) le long de transects (traits verts) coupant perpendiculairement les lisières sud de bois dans les coteaux de Gascogne (c). Les carabiques forestiers sont aussi capturés dans la parcelle agricole adjacente (d) alors que les carabiques de milieu ouverts ne sont pas piégés dans la partie forestière des transects (e) (Roume et al., 2011a).

Les lisières comme site d'hivernation

Puis nous avons approfondi ce travail en nous intéressant non plus aux carabes qui circulent entre la forêt et les cultures, mais à ceux qui hivernent. L'hivernation est un moment critique pour la survie de ces espèces. Avec un autre type de pièges, des tentes à émergence (figure 14), nous nous sommes intéressés aux carabes qui ont passé l'hiver dans le sol et dans des souches, sous forme de larves, et qui ont émergé. Ceux que nous avons capturés ont survécu et ont passé l'hiver à l'endroit du piégeage. On a observé que c'est dans les lisières que se trouvent les densités les plus élevées de carabes hivernants. Ces lisières apparaissent donc comme des endroits stratégiques pour la survie lors de l'hivernation de ces insectes qui, ensuite, sont capables d'aller dans les parcelles agricoles pour se nourrir de pucerons, comme on peut le supposer et l'espérer (Roume et al., 2011b).



Figure 14. Tente à émergence. Avec ce piège, seuls les insectes ayant hiverné sous la toile sont capturés. L'hivernation est une phase critique du cycle de beaucoup d'insectes. Pour les carabiques, les densités les plus élevées ont été observées dans les lisières des bois, avec plus d'une centaine d'individus émergents par m² (Roume et al., 2011b).

Est-ce généralisable ? D'abord, les lisières sont sources d'auxiliaires, comme nous venons de le montrer, mais pas uniquement. Elles produisent aussi des limaces, elles peuvent être des abris pour l'hivernation des pucerons. S'il est important d'étudier les lisières, elles ne sont pas forcément la panacée et il y a sans doute des équilibres à trouver entre ces aspects positifs et négatifs. Il faut aussi les comparer à d'autres milieux. Est-ce qu'une haie vaut une lisière ? Est-ce qu'une prairie est plus intéressante ou moins intéressante que les lisières pour la préservation et la production d'organismes auxiliaires ? Nos travaux récents nous laissent à penser que certes, les lisières sont utiles, mais qu'elles ne sont peut-être pas les plus importantes dans le paysage. On approfondit nos travaux avec des démarches comparatives, qui commencent à mieux montrer si ces résultats sont généralisables. La prochaine étape sera d'utiliser de la modélisation de

type multi-agents, avec divers organismes mobiles, pour évaluer si on est capable de modéliser jusqu'où ces organismes vont pouvoir aller dans les parcelles agricoles et ce qui va favoriser leurs déplacements.

Un système socio-écologique modèle

J'appelle le système socio-écologique que l'on a étudié le système socio-écologique modèle parce qu'il nous a permis de montrer un certain nombre de choses. On a bien un système social qui façonne le paysage et on a montré que le paysage est bien l'expression d'une rencontre entre des contraintes écologiques, des contraintes pédologiques, une géomorphologie, et une société, ses attentes, sa culture, son histoire. On a montré que cela induit des pratiques particulières qui sont encore aujourd'hui visibles. On a l'impression que ces pratiques sont favorables à des services écosystémiques. Tout cela s'inscrit dans la réflexion, notamment en ethno-écologie, sur la coévolution entre des sociétés humaines et des systèmes écologiques et où, par le jeu des essais-erreurs, le système social et ses règles contribueraient à produire un paysage procurant des bénéfices pour la société. Mais ce système change peu à peu. La société change, ce mode de transmission dont je vous ai parlé est en train de changer. On peut donc penser que ces propriétés vont évoluer. Dans ce sens, je veux insister pour dire que c'est certes un système écologique modèle pour comprendre ces relations entre les sociétés, les services dont elles bénéficient, les systèmes qui les produisent, mais que ce n'est sans doute pas un système à reproduire. La justice sociale de ce système pose question et n'est sans doute plus adaptée aux attentes actuelles. Sa capacité à perdurer pose question. Quand je le présente, j'insiste souvent sur ce point car on me dit que s'il s'agit de reproduire un système féodal, ce n'est pas vraiment une bonne chose. Certes, par contre, c'est un bon dispositif pour comprendre des fonctionnements.

CONCLUSION

En conclusion, j'espère avoir convaincu que l'écologie des paysages est pertinente pour étudier des services écosystémiques. Je pense qu'il est important, dans cette perspective, de développer un savoir-faire très attentif sur l'utilisation des données spatialisées pour leur faire dire ce qu'elles peuvent dire et non n'importe quoi. Il reste de très nombreuses questions dans le domaine de l'écologie des paysages, qui concernent les services écosystémiques. Réciproquement, traiter les services écosystémiques avec l'écologie des paysages peut alimenter les questions de cette discipline. L'interdisciplinarité nous révèle des facteurs sous-jacents dans les systèmes socio-écologiques, qui sont importants pour gérer les éléments qui contribuent à produire les services écosystémiques.

Je voudrais enfin remercier tous mes collègues de l'unité Dynafor parce qu'ils ont contribué à un grand nombre de travaux qui permettent cette présentation, et plus particulièrement Gérard Balent qui a été à l'initiative de tout cela.

Références bibliographiques

- Andrieu E, Ladet S, Heintz W, Deconchat M (2011) History and spatial complexity of deforestation and logging in small private forests. *Landscape and urban planning* 103:109-117 doi:10.1016/j.landurbplan.2011.06.005
- Deconchat M, Thenail C (2013) Landscape agroecology: from patterns to resilience. Paper presented at the Warm-up workshop "Agroecological transition and resilience, Montpellier,
- Forman RTT, Godron M (1986) *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York, USA
- Gergel S.-E., Turner M.-G. (2002). *Learning Landscape Ecology: a practical guide to concepts and techniques*. Springer.)
- Gonzalez M, Ladet S, Deconchat M, Cabanettes A, Alard D, Balent G (2010) Relative contribution of edge and interior zones to patch size effect on species richness: An example for woody plants. *Forest Ecology and Management* 259:266-274 doi:10.1016/j.foreco.2009.10.010
- Herrault PA, Larrieu L, Cordier S, Gimmi U, Lachat T, Ouin A, Sarthou JP, Sheeren D (2015) Combined effects of area, connectivity, history and structural heterogeneity of woodlands on the species richness of hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Landscape Ecology* doi:10.1007/s10980-015-0304-3
- Kremen *et al.* (2007) Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol Lett*.
- Monteil C, Deconchat M, Balent G (2005) Simple neural network reveals unexpected patterns of bird species richness in forest fragments. *Landscape Ecology* 20:513-527 doi:10.1007/s10980-004-3317-x
- Roume A, Deconchat M, Raison L, Balent G, Ouin A (2011a) Edge effects on ground beetles at the woodlot-field interface are short-range and asymmetrical. *Agricultural and Forest Entomology* 13:395-403 doi:10.1111/j.1461-9563.2011.00534.x
- Roume A, Ouin A, Raison L, Deconchat M (2011b) Abundance and species richness of overwintering ground beetles (Coleoptera: Carabidae) are higher in the edge than in the centre of a woodlot. *European Journal of Entomology* 108:615-622
- Sheeren D, Bonthoux S, Balent G (2014) Modeling bird communities using unclassified remote sensing imagery: Effects of the spatial resolution and data period. *Ecological Indicators* 43:69-82 doi:10.1016/j.ecolind.2014.02.023