

PHENOMENES DE DEPENDANCES D'ECHELLES DANS L'ETUDE DU CHANGEMENT D'UTILISATION DES TERRES

BAUDRY J.

INTRODUCTION

La prise de conscience de l'importance des échelles d'espace et de temps dans les recherches en écologie s'est rapidement développée ces dernières années, ceci à la fois pour des raisons théoriques et des raisons pratiques. Au plan théorique, Allen et Starr (1982) font remarquer que les discussions sur la validité de différents modèles ont souvent pour origine l'absence de références à des échelles spatio-temporelles identiques. Or les phénomènes écologiques, tous comme de nombreux phénomènes biologiques ou physiques ne sont pas indépendants de l'échelle à laquelle on les observe ("scale dependence"). Sur le plan pratique l'écologie, en tant que science, doit aider à poser et à résoudre des problèmes d'environnement tels que pollution, mutation des paysages, diminution de la diversité biologique.... L'évaluation des problèmes aussi bien que la recherche de solution se font à des niveaux d'organisation spatiale (région, état, planète) sans commune mesure avec les niveaux d'organisation abordés jusqu'à présent en écologie. Kareiva et Anderson (in May, 1989) rapportent que la plupart des investigations écologiques portent sur des quadrats de moins de 1 m². Le problème peut être posé, de façon simplificatrice, de la manière suivante: peut-on extrapoler les résultats de recherches locales dans l'espace et dans le temps et si oui, comment?

De nombreux ouvrages et articles ont paru sur ces problèmes au cours des dernières années (Allen & Starr, 1982; Allen et al, 1987; O'Neill et al, 1986; May, ; Turner et al, 1989; Wiens, 1989). La terminologie est loin d'être fixée, aussi pour lever toute ambiguïté, les mots échelle et niveau, mots-clés de la réflexion seront utilisés, dans cette contribution, dans les sens suivants: échelle = degré de résolution spatiale ou temporelle de l'étude, c'est à dire l'unité de temps et d'espace choisie pour observer un phénomène; niveau = ensemble de l'espace étudié, pour la dimension temporelle on dira plutôt période. Ceci conduit au fait que l'on peut étudier un niveau à plusieurs échelles (e.g. 1/5000, 1/25000 ième) et qu'un changement d'échelle n'équivaut pas à un changement de niveau spatial. Il y a

explicitement une différence entre une hiérarchie de niveaux emboîtés ou non et un ensemble d'échelles.

Cette contribution a pour objet l'illustration d'une démarche de recherche sur le thème du changement d'utilisation des terres. Elle aborde la façon dont le phénomène, objet de débat social et économique, peut être perçu à différentes échelles d'espace et de temps et les problèmes que cela pose pour comprendre les causes et en estimer les conséquences écologiques. Cette démarche suppose que la région ait des propriétés d'autonomie, que l'on puisse la caractériser sur le plan phénoménologique, ce qui a été montré par Phipps et al (1986).

Les tentatives récentes d'évaluation de l'abandon des terres agricoles (Moati, 1987; 1989) ont montré que le prolongement de tendance des "causes" (démographie agricole, facteurs de production...) ne permet pas de prédire le phénomène. Nous faisons l'hypothèse qu'une partie de cet échec est imputable à l'absence d'un référentiel spatio temporel.

Cette hypothèse sera testée grâce aux résultats préliminaires d'une recherche sur les changements de l'utilisation des terres en Bretagne et Basse-Normandie depuis 1882.

Au plan écologique le changement d'utilisation des terres est un facteur essentiel dans la dynamique des paysages ruraux. Le développement de l'écologie du paysage a apporté des outils conceptuels qui permettent de dépasser le niveau de la placette homogène pour aborder des ensembles spatialement hétérogènes. Ils ont été utilisés pour comprendre la différenciation des peuplements (Burel, 1989) la dynamique de certaines populations (Merriam, 1989), la colonisation des terres abandonnées (Baudry, 1989) ou les flux de matière (Ryzkowski, 1989; Woodmansee, 1989).

Dans ce travail nous nous appuyons sur la théorie hiérarchique (Allen & Starr, 1982, Urban et al, 1987) pour formuler des hypothèses sur la dépendance d'échelle et la géométrie fractal (Mandelbrot, 1984, Peitgen & Saupe, 1988, Milne, sous presse) pour reconnaître les domaines d'invariance d'échelle, caractériser l'espace et les trajectoires chaotiques.

La théorie hiérarchique montre que les niveaux supérieurs exercent un contrôle sur les niveaux englobés. Il existe aussi une relation entre l'espace et le temps: plus on s'élève dans la hiérarchie, plus les phénomènes se déroulent lentement sur des pas de temps long. Baudry et Burel (1990) ont montré que le paysage d'une commune rurale change globalement moins vite que la moyenne des quadrats qui ont servi à l'analyse. On pose aussi l'hypothèse qu'à chaque niveau d'organisation on distingue des processus différents intervenant sur un même phénomène.

MATERIEL ET METHODES

Nous avons distingué une analyse espace/temps et une analyse purement spatiale.

Pour l'analyse espace/temps, deux ensembles de données ont été utilisés:

1) les statistiques issues des recensements départementaux annuels des services du Ministère de l'Agriculture. Pour les départements des régions Bretagne (Côtes d'Armor, Finistère, Ille et Vilaine et Morbihan) et Basse-normandie (Calvados, Manche et Orne) on a recueilli les surfaces en terres labourées, prairies permanentes, landes et bois pour les années 1882, 1911, 1920, 1939, 1955, 1965, 1975 et 1985.

2) les données TERUTI (recensement de l'utilisation des terres du Ministère de l'Agriculture) pour les petites régions agricoles du Calvados (Bessin, Bocage, Pays d'Auge et Plaine de Caen) chaque année de 1978 à 1987 pour les mêmes variables. Ce sont les seules données annuelles à l'échelle de la petite région. Il existe, à l'échelle du département un léger décalage avec les données de recensement annuel, mais ici nous travaillons au sein d'un département et considérons l'incertitude comme négligeable.

Les données ont été transformées en fréquence de façon à donner à chaque département le même poids dans une analyse factorielle des correspondances (Benzecri, 1973) qui nous a permis de constituer un espace de gradients d'utilisation au sein duquel des trajectoires d'évolution ont pu être tracées. Les régions Bretagne et Normandie, ainsi que leur somme ont été projetées en éléments supplémentaires dans l'espace factoriel ainsi défini. Nous avons fait de même avec les régions agricoles caractérisées par TERUTI. Cette technique présente l'avantage de permettre la représentation simultanée de plusieurs niveaux spatiaux à diverses époques dans un même cadre de référence. En ce sens l'analyse factorielle des correspondance est un outil précieux pour aborder le problème des échelles.

Ensuite nous avons calculé des vitesses d'évolution dans l'espace factoriel à divers niveaux spatiaux et divers pas de temps (Burel & Baudry, 1990). Cette vitesse est exprimée en unités factorielles par unité de temps. La vitesse est égale à la distance euclidienne entre deux points (états) dans l'espace factoriel divisée par la durée entre les deux états successifs.

Pour une analyse purement spatiale, les résultats du recensement général de l'agriculture de 1979, pour la Basse-Normandie, ont été utilisés car ils donnent des informations aux échelles communales et cantonales, la cartographie d'une commune à l'échelle parcellaire a permis de compléter la gamme des niveaux et des échelles

spatiales. Pour chaque niveau nous avons calculé la dimension fractale de la répartition des prairies permanentes.

RESULTATS

Trajectoires d'évolution

Les deux premiers facteurs de l'AFC expliquent 94 % de l'inertie totale, avec une valeur propre sur le premier facteur de 0.24 qui indique l'existence d'un gradient peu prononcé. Ce premier facteur est principalement lié à l'importance des prairies permanentes et des terres labourées (Fig. 1), le second facteur traduit l'importance des landes. On remarque des changements importants de l'utilisation des terres de l'ensemble des départements pour la période considérée (Fig. 2). Les régions Bretagne et Basse-Normandie ont connu des évolutions très différentes, avec, pour la Normandie de brusques revirements de tendance. Ces trajectoires sont diverses et irrégulières. La régularité augmente et la longueur diminue au fur et à mesure que l'on monte dans la hiérarchie spatiale (Fig.2). Ceci est illustré par le fait que sur l'ensemble de leur trajectoire, les départements changent plus vite que leur agrégation (Fig.3).

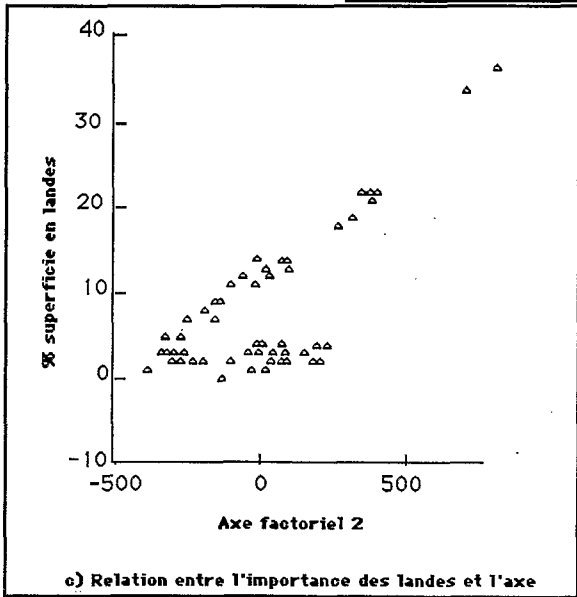
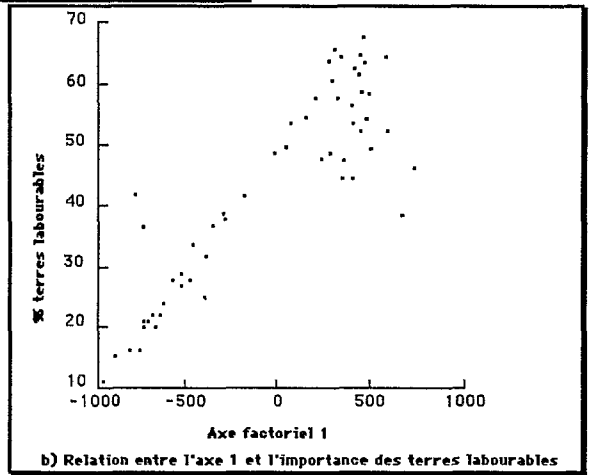
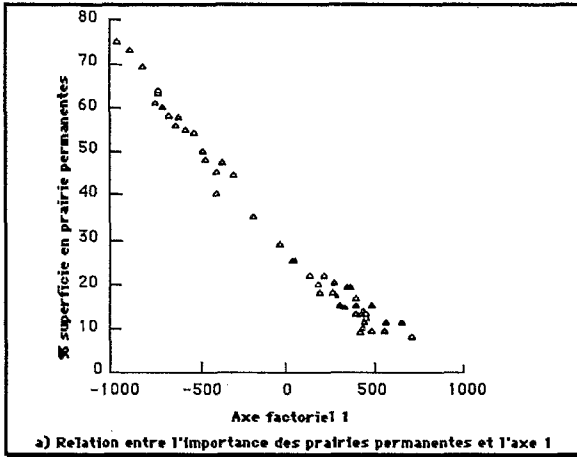
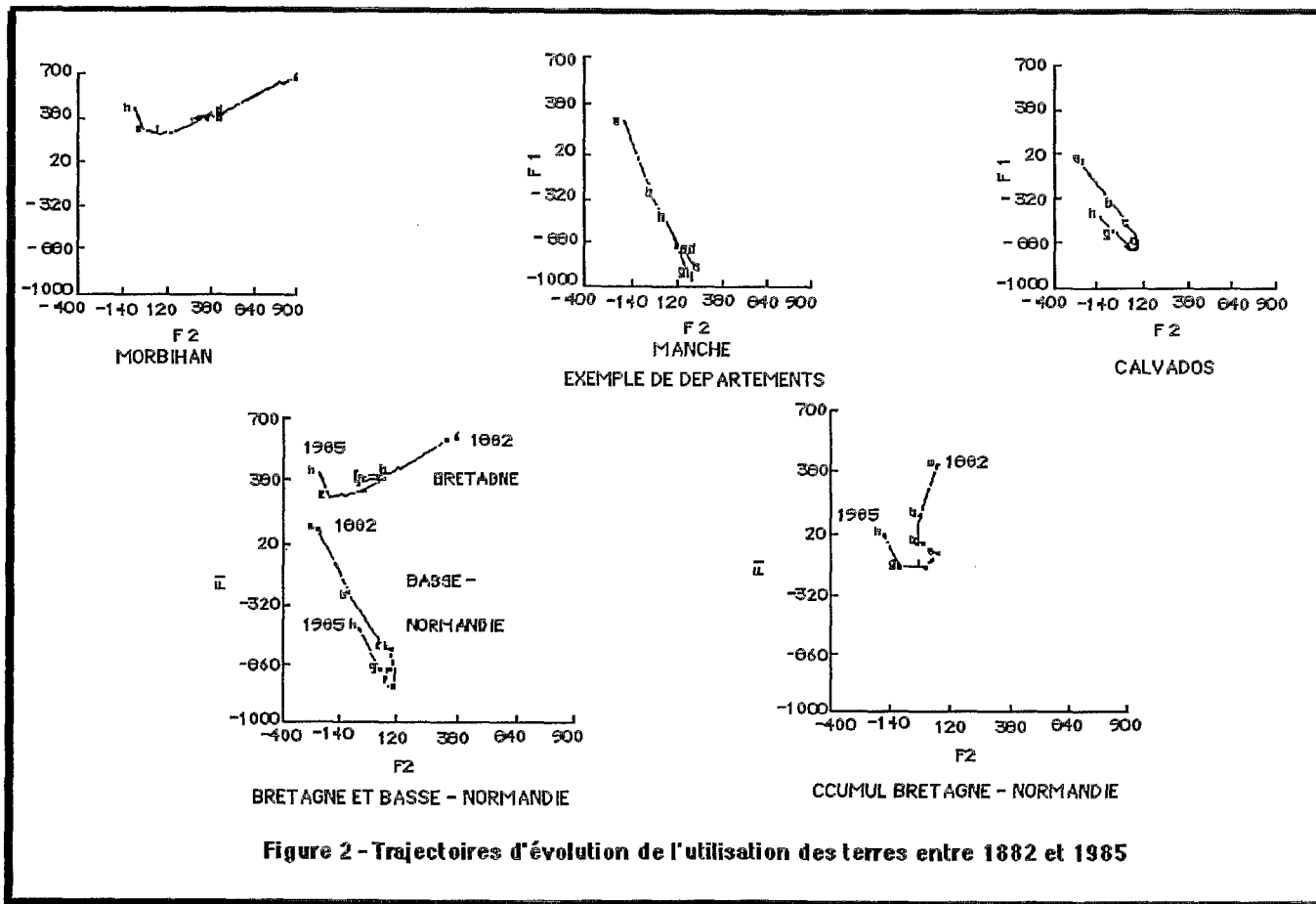


Figure 1. Caractérisation des axes factoriels



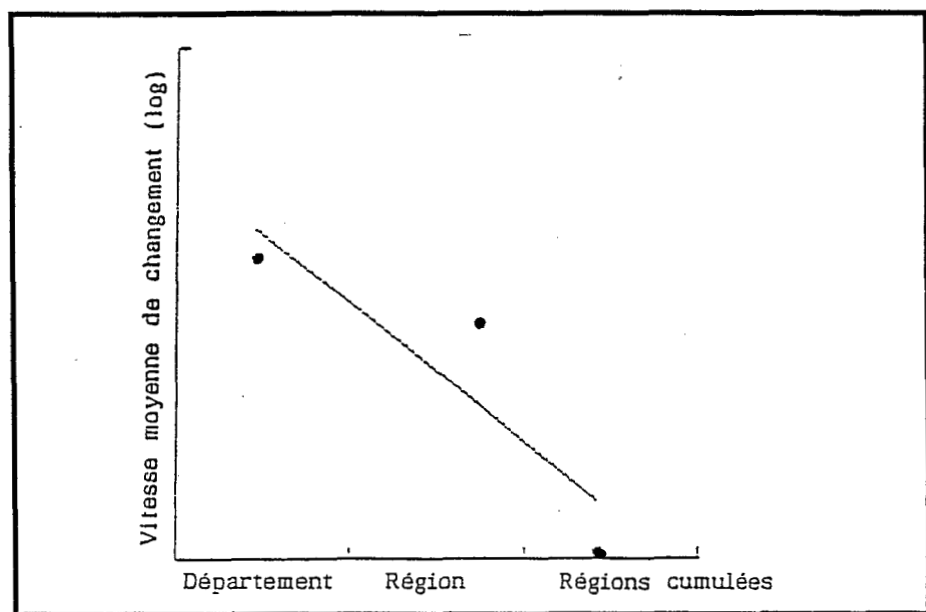


Figure 3. Variation de la vitesse de changement selon le niveau spatial considéré

Evolution annuelle de petites régions agricoles

Les trajectoires d'évolution des petites régions agricoles entre 1978 et 1985 paraissent zigzagantes (Fig.4). Ceci est dû à des variations annuelles rapides et en sens opposé, la trajectoire repasse par les mêmes points. Les vitesses d'évolution diminuent quand l'échelle de temps augmente (Fig.5).

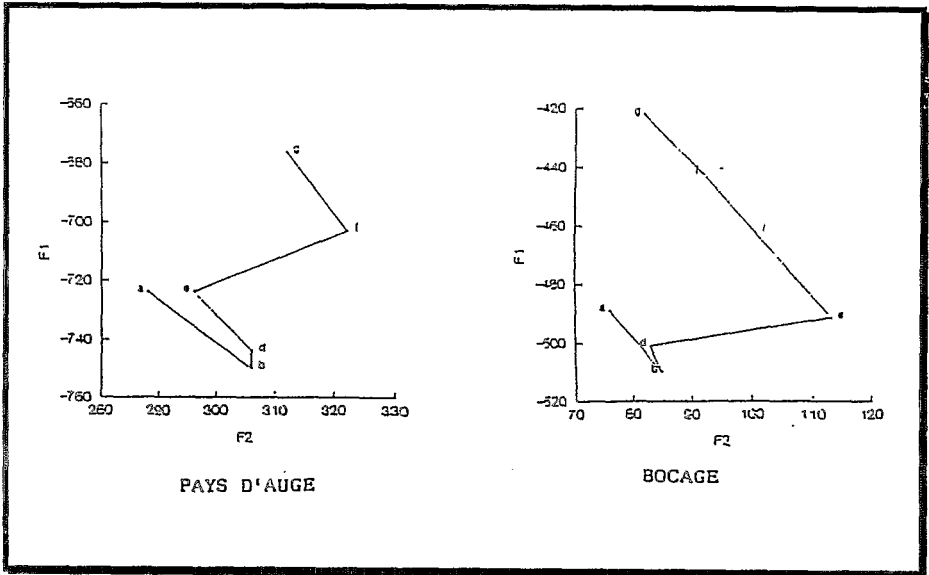


Figure 4. Evolution de l'utilisation des terres dans deux P.R.A. du Calvados entre 1978 et 1985

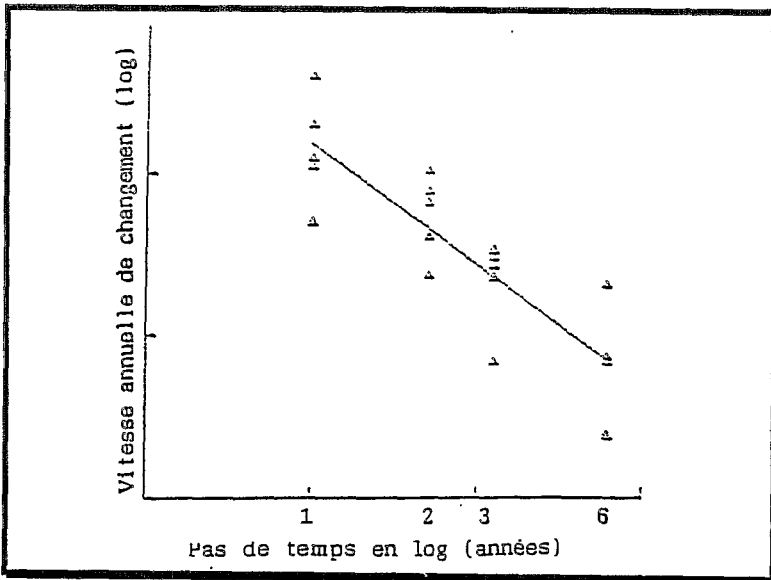


Figure 5. Variation de la perception de la vitesse de changement de l'utilisation des terres dans les petites régions agricoles du Calvados, en fonction du pas de temps considéré

Ces deux exemples illustrent l'importance de l'échelle spatiale et temporelle dans la mesure de l'évolution de l'utilisation du territoire.

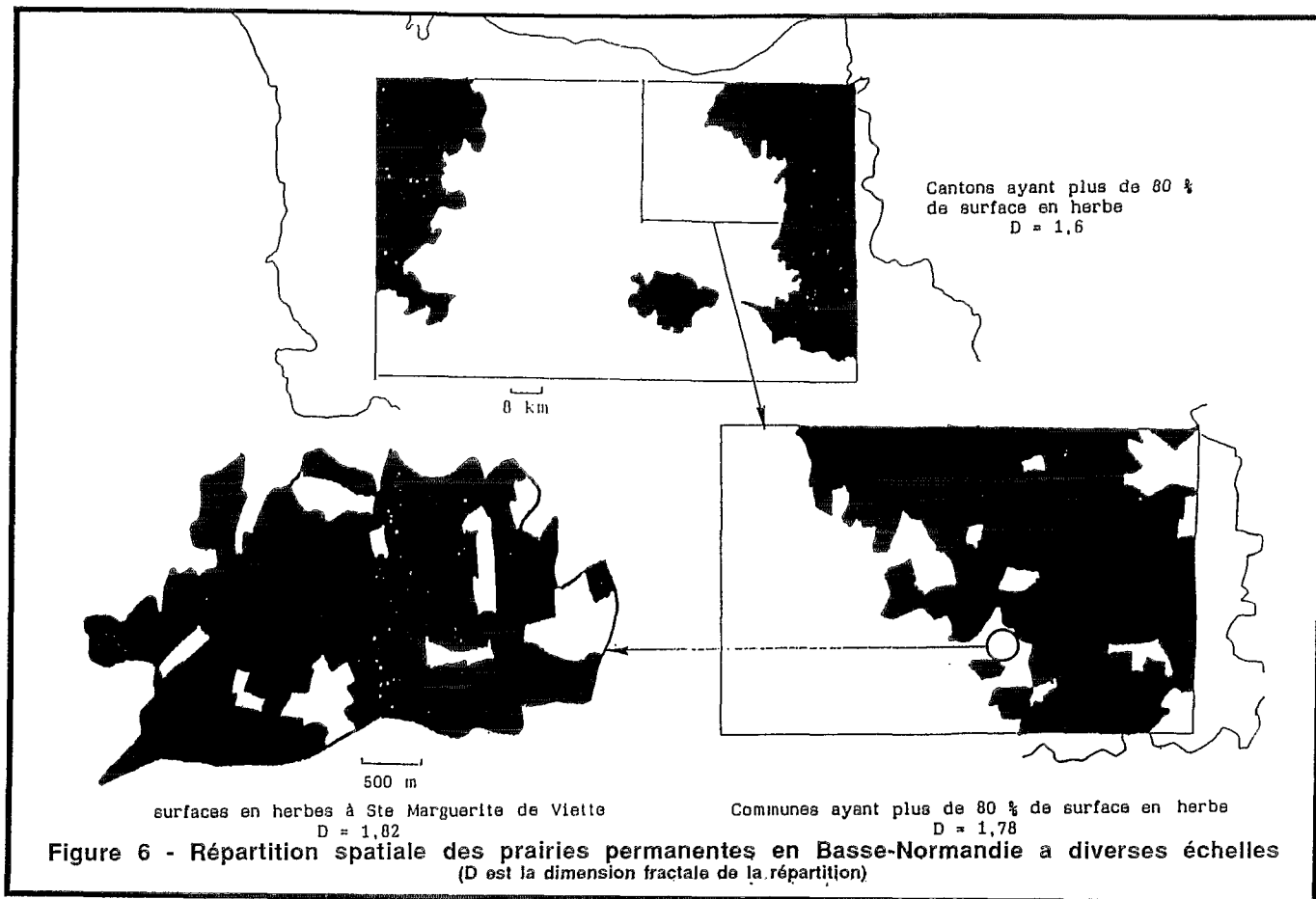
Répartition spatiale des prairies permanentes

La Fig.6 fait apparaître la nature fractale de la distribution de la classe "plus de 80% de prairies" à diverses échelles. Quelle que soit l'échelle la distribution est irrégulière; une distribution euclidienne ferait apparaître des masses homogènes pour les petites unités d'échantillonnage (Voss, 1988), La dimension fractale de la distribution varie selon les échelles (Fig.6). La structure spatiale ne se réplique pas au travers de toutes les échelles, mais seulement sur une partie de lagamme.

Discussion: intérêt de l'approche, liens avec l'activité agricole et les processus écologiques. Cette première analyse d'un phénomène complexe car ayant des déterminismes différents selon les niveaux d'organisation, montre la pertinence d'une interrogation sur les échelles. Il apparaît que:

* les vitesses apparentes d'évolution de l'utilisation des terres varient selon les échelles temporelles et spatiales considérées. En accord avec la théorie hiérarchique, plus les échelles temporelles sont grandes (pas de temps court), plus les échelles spatiales sont fines et plus les vitesses moyennes sont élevées. Il découle de ceci un point extrêmement important: la vitesse d'évolution d'un ensemble qui le compose. Une approche statistique basée sur des taux moyens de changement extrapolés linéairement est clairement inappropriée. Dans les domaines étudiées, les trajectoires semblent avoir une seule dimension fractale, ce qui permettrait d'extrapoler la vitesse d'une période à l'autre grâce à cette dimension fractale (la dimension fractale est la pente de la régression log/log de la vitesse par rapport à l'échelle de mesure).

* la distribution spatiale des principaux modes d'utilisation des terres est aussi fractale. Suivant les niveaux et échelles spatiales considérées on a différents domaines de fractalité. Ceci n'est nullement étonnant car l'on sait que des combinaisons particulières de climat et de sol à une échelle régionale peuvent déterminer la dominance des prairies permanentes, tout en permettant localement, à des agriculteurs d'avoir des cultures annuelles. L'étape suivante de la recherche est de chercher les échelles et les niveaux spatiaux où change la dimension fractale, de façon à y concentrer les études de changement de processus d'organisation.



La prédiction des changements nécessite la mise au point de modèles déterministes ou stochastiques basés sur les variables causales agissant à différents niveaux. Sur le thème ici étudié, cela veut dire qu'on ne peut comprendre ce qui se passe à un niveau d'organisation (exploitation agricole, commune, région...) sans étudier simultanément les niveaux englobés et les niveaux englobant (Allen et al, 1984). Le travail actuel nous aide à définir ces niveaux. Notre hypothèse est qu'au niveau de l'ordre de la commune, à des échelles qui restent à déterminer, ce sont les caractéristiques des agriculteurs et de leurs exploitations qui vont déterminer les évolutions, alors qu'au niveau régional, ces variables auront peu d'importance du fait de l'organisation hiérarchique de l'espace qui donne une certaine autonomie aux différents niveaux (Allen & Starr, 1982; O'Neill et al, 1986, May, 1989). A ce niveau régional, ce seront les évolutions des techniques et du marché qui seront vraisemblablement les variables déterminantes. Balent (1989) et Baudry (1990, Baudry et al, 1989) ont montré l'effet des relations hiérarchiques entre les parcelles agricoles et les exploitations ou la société locale sur l'évolution écologique des parcelles.

L'approche hiérarchique doit nous permettre d'éviter ce que Wiens (1989) appelle les "pseudoprédiction"; ce sont les prédictions que nous pouvons faire à court terme sur des niveaux spatiaux élevés. Etant donné que leurs dynamiques sont lentes, il y a peu de changement à court terme d'où la facilité de prédiction, mais dans la mesure où le long terme n'est pas intégré, ce ne sont que des pseudoprédiction.

Relations avec les processus écologiques

L'hétérogénéité spatiale et l'instabilité temporelle de l'utilisation des terres donc des habitats, des couverts végétaux ont des conséquences écologiques importantes qu'il est difficile de cerner globalement, alors qu'il existe de nombreuses études locales. Les principaux problèmes posés concernent:

- * le pool régional d'espèces, qui est une contrainte majeure pour la diversité biologique locale (Ricklefs, 1987).
- * la fragmentation, la taille des fragments, les relations spatiales et leur influences sur les populations locales.
- * les vitesses de réaction, de colonisation des populations. Les espèces prairiales ont-elles pu coloniser les prairies de la Manche en 80 ans? A-t-on jamais atteint un état d'équilibre?
- * comment ces changements affectent-ils les conditions climatiques locales (prairies et bocage sont liés), l'érosion, les flux de minéraux?

La littérature ne fournit que peu d'indications pour répondre à ces questions. Middleton et Merriam (1983) ont montré que la plupart des espèces forestières subsistaient dans les paysages ruraux du sud-est de l'Ontario 200 ans après les débuts de l'agriculture. Sugihara et May (1990) ont formulé diverses hypothèses sur les conséquences écologiques du caractère fractal des paysages. Milne (sous presse) développe des modèles utilisant la géométrie fractale et les relations allométriques entre le poids des herbivores et leur aire de comportement pour prédire l'utilisation des ressources dans un paysage. Senft et al (1987) développent des modèles hiérarchiques de comportement des herbivores.

La principale hypothèse que nous pouvons poser actuellement est la suivante: Les espèces utilisant de grands espaces "voient" celui-ci changer moins vite que les espèces utilisant des espaces petits tels que les parcelles agricoles ou les haies. Ces dernières peuvent trouver des refuges proches du fait de l'hétérogénéité des paysages. Burel (soumis) a observé que la distribution de certaines espèces de coléoptères carabiques intègre l'état du paysage 30 ans auparavant. Ces états de non équilibre seront difficiles à cerner.

Les approches pluri-échelles constituent des outils de recherche puissants permettant de préciser au mieux le domaine de validité des observations (niveaux d'organisation) et de poser des hypothèses sur les processus générant les phénomènes spécifique à chaque niveau.

Remerciements: Ces recherches ont bénéficié du soutien financier de la Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Basse-Normandie et du Comité Ecologie et Gestion du Patrimoine Naturel du Ministère de l'Environnement. Je remercie le comité français du SCOPE de m'avoir permis de participer à ce séminaire. Je remercie F. Burel pour ses remarques sur une version antérieure du manuscrit.

REFERENCES

- ALLEN, T.F.H. & STARR, T.B. (1982) *Hierarchy perspectives for ecological complexity*. The university of Chicago Press, Chicago and London, 310 p.
- ALLEN, T.F.H., O'NEILL, R.V. ~ HOEKSTRA, T.W. (1984) *Interlevel relations in ecological research and management: some working principles from hierarchy theory*. USDA Forest Service, General Technical Report RM-10, 11 p.
- BALENT, G. (1989) Hierarchical analysis of spatial patterns in pastoral systems. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement* 16: 187-198
- BAUDRY, J. (1989) Interactions between agricultural and ecological systems at the landscape level. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 27: 119-130

- BAUDRY, J., BUREL, F. & BALENT, G. (1988) Ecological consequences of changes in agricultural systems: some methodological aspects and cases study in France. In Golley F. and Golley P. (eds) Ecological consequences of agricultural policy and practice. *Ecology International* 16:35-46
- BENZECRI J.P. (ed) (1973) *L'analyse des données*, tome 1: la taxinomie Donod, Paris 615p.
- BUREL, F. (1989) Landscape structure effects on carabid beetles spatial patterns in Western France. *Landscape Ecology*, 2: 215-226.
- BUREL, F. (soumis) Effect of landscape structure and dynamics on carabids biodiversity, in Brittany France. *Landscape Ecology*
- BUREL, F. & BAUDRY, J. (1990) Structural dynamic of a hedgerow network landscape in Brittany France. *Landscape Ecology* 4 (4) sous presse
- MANDELBROT B. (1984) *Les objets fractals*
- MERRIAM, H.G. (1989) Ecological processes in the time and space of farmland mosaic. IN Zonneveld, I.S. & Foraman, R.T.T. (eds.) *Changing landscapes: an ecological perspective*. Springer-Verlag pp 121-133
- MIDDLETON J. & H.G. MERRIAM (1983) Distribution of woodland species in farmland woods. *J. Appli. Ecol.* 20: 625-644
- MILNE, B.T. (1990) Lessons from applying fractal models to landscape patterns. In Turner, M.G. and Gardner R.H. *Quantitative methods in landscape ecology*. Springer-Verlag (in press)
- MILNE, B.T., TURNER, M.G., WIENS, J.A. & JONHSON, A.R. (soumis) Interactions between the fractal geometry of landscapes and allometric herbivory. *Theoretical Population Biology*
- MOATI P. (1987) L'évolution du nombre et de la structure des exploitations agricoles. *C.R. Académie d' Agriculture* 73:129148
- MOATI, P. (1989) Les facteurs démographiques, économiques et structurels de l'évolution. *C.R. Acad. Agr. Fr.* 75 (2): 9-18
- O'NEILL, R.V., DE ANGELIS, D.L., WALDE, J.B. & ALLEN, T.F.H. (1986) *A hierarchical concept of ecosystems*. Princeton University, NJ, Press, 253 p.
- PEITGEN, H.-O. & SAUPE, D. (EDS.) (1988) *The science of fractal images*. Springer-Verlag, New-York. 312p.
- PHIPPS, M., BAUDRY, J. & BUREL, F. (1986) Dynamique de l'organisation écologique d'un paysage rural: Modalités de la désorganisation dans une zone peri-urbaine *C.R. Acad. Sc. Paris, T. 303, Série III, 7:* 263-268

- RICKLEFS R.E. (1987) Community Diversity: relative roles of local and regional processes. *Science* 235:167-171
- SENFTE, R.L., COUGHENOUR, M.B., BAILEY, D.W., RITTENHOUSE, L.R., SALA, O.E. & SWIFT, D.M. (1987) Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *BioScience* 37:789-799
- URBAN D.L., R.V. O'NEILL & H.H. SHUGART JR (1987) Landscape ecology. *BioScience* 37:119-127
- VOSS R.F. (1988) Fractals in nature : from characterization to simulation. IN Peitgen, H.-O. and Saupe D. (eds.) *The Science of Fractal Images*. Springer-Verlag, New-York. pp21-70
- WIENS, J.A. (1989) Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3: 385-397
- WOODMANSEE, R.G. (1989) Biogeochemical cycles and ecological hierarchies. In Zonneveld I.S. and Forman, R.T.T. (eds.) **Changing landscapes: an ecological perspective**. SpringerVerlag New-York pp 57-71