

Spatialisation de la dynamique des activités agricoles dans le bassin de la Seine

Marc Benoit (INRA, Mirecourt)

Elisabeth Bienaime (INRA, Champenoux)

Florence Le Ber (INRA, Champenoux)

Jean-François Mari (UMR 7503 LORIA /Université de Nancy, Vandoeuvre les Nancy)

Catherine Mignolet (INRA, Mirecourt)

Régine Riela-Cosserat (INRA, Champenoux)

Cette activité a pour objectif général de parvenir à la constitution d'une base de données de l'occupation des sols et des pratiques agricoles à l'échelle du bassin qui est indispensable à la validation du modèle de transfert d'azote sur la période correspondant au passé récent pendant laquelle s'est développé l'emploi massif des fertilisants.

1. Présentation de l'étude

1.1 Problématique

L'objectif général de la 3^{ème} phase du PIREN-Seine (de 1998 à 2001) est de « développer une vision d'ensemble formalisée sous forme de modèles mathématiques, des transferts et des transformations d'éléments biogènes et anthropogènes dans le bassin versant de la Seine, son réseau hydrographique, ses zones humides et ses aquifères, en intégrant, y compris dans leur dimension historique, les facteurs physiques, biologiques et humains qui contrôlent la dynamique » (CNRS, 1998). De façon générale, il s'agit ainsi de comprendre en quoi les activités humaines (agricoles et urbaines) présentes dans le bassin conditionnent le fonctionnement de l'hydrosystème.

Parmi les six thèmes retenus, le premier thème, auquel la Station INRA de Mirecourt participe, est centré sur l'étude de la pollution diffuse des eaux par les activités humaines, principalement agricoles. La démarche de recherche adoptée consiste à modéliser les transferts d'eau et de nitrates dans les aquifères et les cours d'eau en analysant plusieurs sous-systèmes : le système agraire, le système eau-sol-plante, le système hydrologique (étude des écoulements d'eau dans le bassin) et le système biogéochimique (processus biologiques et chimiques jouant dans le cycle de l'azote). Notre participation est axée sur la mise en place de bases de données agricoles nécessaires au fonctionnement du modèle STICS (Brisson, 1998), développé pour modéliser le sous-système eau-sol-plante.

La mise en place d'une base de données de caractéristiques agricoles (occupation des sols et pratiques agricoles) dans la perspective d'apporter des informations initiales aux modèles de suivi de la pollution diffuse à l'échelle d'un bassin versant, se heurte à plusieurs difficultés :

- des difficultés pour accéder à des informations les plus fiables et précises possible sur un grand territoire, qui conditionneront la qualité de la modélisation ultérieure (Ackerer *et al.*, 1997),
- des difficultés liées à l'hétérogénéité du milieu naturel à l'intérieur du bassin versant, qui entraîne des fonctionnements hydrologiques très variables selon les aquifères,
- et enfin, des difficultés à recueillir des informations sur un temps long, condition indispensable pour étudier les phénomènes de circulation de l'eau dans les aquifères profonds, où la qualité de l'eau réagit avec plusieurs années de retard aux évolutions des activités humaines (Vachier et Dever, 1990).

Compte-tenu de ces difficultés, la question de recherche que nous nous sommes fixés au cours de cette première année de travail dans le cadre du PIREN-Seine, est la suivante : comment retracer l'évolution des activités agricoles depuis les trente dernières années, afin de suivre l'évolution des risques de pollution diffuse par les nitrates dans le bassin de la Seine ? Cette question a été décomposée en trois principales étapes, qui correspondent aux trois parties de notre rapport :

- quelles informations utiliser ? Cette phase initiale a consisté à sélectionner et acquérir les données agricoles qui nous semblaient les plus appropriées, et à mettre en place un système de gestion de ces données (en l'occurrence un Système d'Information Géographique).

- comment spatialiser l'évolution des activités agricoles sur un temps long ? Des méthodes statistiques et cartographiques ont été combinées pour rendre compte de l'évolution des systèmes techniques agricoles au sens large, et plus spécifiquement de l'évolution des pratiques de gestion des successions culturales¹ et des fourrages, qui nous semblent être des paramètres-clés vis-à-vis de la pollution nitrique diffuse.

- comment spatialiser l'impact de l'évolution des activités agricoles sur la pollution des eaux par les nitrates ? Nous avons pour cela fait appel à la notion de pression polluante, définie comme étant le produit de la surface de chaque type de culture par un indice de pression polluante, fonction du type de culture et des pratiques qui lui sont associées. Cette troisième étape a été construite provisoirement dans l'attente des simulations issues du modèle STICS.

1.2 Cadre géographique de l'étude

Dans cette étude préliminaire, nous avons choisi de ne pas travailler d'emblée sur l'ensemble du bassin de la Seine (qui s'étend sur 80000 km²), mais de tester les possibilités d'accès aux données et nos méthodes d'étude sur une zone plus restreinte située à l'est du bassin, dans les régions de Bourgogne, Lorraine et Champagne-Ardennes (planche cartographique 1).

Cette zone, qui s'étend sur 37000 km² (soit près de la moitié de la surface du bassin), est caractérisée par des activités humaines principalement agricoles et agro-alimentaires. Les conditions pédo-climatiques y apparaissent très variables et conditionnent des productions agricoles relativement diversifiées : grandes cultures et notamment betterave sucrière dans le Pays de Craie, longtemps jugé inculte (d'où l'expression de « Champagne Pouilleuse ») et devenu l'une des régions agricoles les plus riches de France, élevage et cultures sur les plateaux calcaires, et enfin vignobles qui ont fait la réputation mondiale de la région champenoise.

Enfin, cette partie du bassin de la Seine est caractérisée par l'affleurement d'une grande partie des aquifères du bassin parisien (planche cartographique 1).

2. Construction d'une base de données spatio-temporelle sur l'agriculture de l'est du bassin de la Seine

2.1 Acquisition des données

Deux types d'informations sont nécessaires pour faire fonctionner le modèle STICS : des informations sur l'utilisation des sols et des informations sur les pratiques agricoles (gestion des cultures, fertilisation).

Des informations sur l'utilisation des sols sont relativement faciles à obtenir auprès des différents services statistiques du Ministère de l'Agriculture. Nous avons ainsi choisi de comparer l'intérêt de deux sources de données différentes, disponibles à des échelles de temps et d'espace distinctes :

- les Recensements Généraux de l'Agriculture, effectués en 1970, 1979 et 1988, rassemblent de nombreuses variables descriptives par exploitation : gestion des terres (cultures, équipements hydrauliques), cheptel, équipement (bâtiments, matériel agricole), main d'œuvre (âge moyen des

¹ Nous entendons par succession culturale la série ordonnée des couverts végétaux mise en place par les agriculteurs dans une parcelle, que ces couverts soient annuels, pluriannuels ou pérennes, cultivés ou prairiaux.

exploitants, composition des familles, formation), etc. Les exploitations sont classées par orientation technico-économique (OTEX ; annexe 1). Cette classification, harmonisée dans le cadre du Réseau d'Information Comptable Agricole Européen (RICA), est fondée sur la valeur monétaire des productions agricoles des exploitations, estimée à partir de la répartition des cultures dans la Surface Agricole Utile (SAU) et de l'importance du troupeau. L'ensemble des variables est agrégé par commune, petite région agricole (PRA), canton, département et région.

- les enquêtes TerUti relèvent annuellement depuis 1982, l'occupation des sols sur plus d'un million de points en France (Amorich et Giralt, 1998). Les données d'occupation du sol agricoles sont réparties en 45 classes. Les points TerUti sont géoréférencés, mais du fait du secret statistique, les données auxquelles nous pouvons accéder sont agrégées par département ou, pour les plus récentes (à partir de 1991), par PRA (annexe 2).

Les informations portant sur les pratiques agricoles sont beaucoup plus difficiles à acquérir, car il n'existe pas de démarche systématique d'enregistrement de ce type de renseignement. Deux principales pistes peuvent toutefois être identifiées pour y accéder :

- s'intéresser aux pratiques conseillées aux agriculteurs, et en particulier aux pratiques de fertilisation : il s'agit d'interroger les acteurs de la filière agricole (coopératives, agents de développement, ...) pour inventorier les conseils qu'ils apportent aux agriculteurs et ainsi donner un premier aperçu des pratiques mises en œuvre sur le terrain. Par manque de temps, cette procédure qui suppose la réalisation d'un certain nombre d'enquêtes, n'a pour le moment pas été initiée. Elle constitue l'une des perspectives que nous évoquerons en fin de ce rapport comme point central de notre activité de l'an 2000.
- construire des indicateurs de pratiques agricoles à partir des informations contenues dans les bases de données statistiques : c'est par cette voie que nous avons commencé à appréhender une partie des pratiques agricoles sur l'est du bassin de la Seine, qui concernent les successions culturelles d'une part, et les pratiques fourragères d'autre part.

2.2 Choix d'un maillage territorial

Pour spatialiser l'évolution des activités agricoles et ensuite évaluer leur impact sur la pollution des eaux par les nitrates, il nous faut choisir un maillage territorial sur lequel organiser la base de données, qui soit pertinent pour ces deux objectifs. Le maillage retenu doit constituer le meilleur compromis entre les données disponibles, la précision exigée et la signification par rapport aux phénomènes décrits.

Les données des statistiques agricoles sont organisées sur des maillages administratifs (commune puis agrégation en canton, PRA, département). Nous avons opté pour le maillage en PRA (planche cartographique 2) pour trois principales raisons :

- l'utilisation des informations issues des RGA à l'échelle communale apparaît relativement imprécise. Des informations peuvent être manquantes en raison du secret statistique qui n'autorise pas la publication du résultat d'un critère si moins de trois exploitations sont concernées par commune. De plus, les superficies renseignées concernent celles des exploitations ayant leur siège dans la commune, quelle que soit la localisation des terres (dans la commune ou ailleurs). Cette pratique peut entraîner un biais relativement important lors de l'étude de l'occupation des sols, biais qui de plus évolue au cours du temps parallèlement à l'agrandissement des exploitations agricoles.
- la zone étudiée sur l'est du bassin de la Seine s'étend sur 2818 communes. Dans une première approche, il ne paraît pas utile de travailler à une échelle si fine. Par contre, le maillage départemental apparaît trop grossier. Il convient donc de travailler sur une segmentation intermédiaire, qui peut être celle du canton ou celle de la PRA.
- bien que d'une moins bonne précision spatiale que le maillage cantonal (la zone d'étude s'étend sur 243 cantons contre 55 PRA), le maillage en PRA a l'avantage de présenter une concordance significative avec le découpage en grands ensembles géologiques des différents aquifères du bassin (planche cartographique 3). Cette concordance est particulièrement nette autour du Morvan, de l'Auxois, de la Brie champenoise et du Tardenois. Elle est également visible pour les

petites régions constitutives de la Champagne Humide et de la Champagne Crayeuse. Au regard de nos objectifs qui demandent de lier activités humaines et faits écologiques, c'est actuellement le maillage qui nous paraît le plus pertinent.

2.3 Organisation des données

L'ensemble des données issues des RGA est organisé autour d'une base de données géographiques sur un maillage PRA (figure 1). Cette organisation effectuée sous le SIG ArcView permet de disposer des fonctionnalités des SIG : écriture de requêtes pour accéder à des informations précises, réalisation d'opérations de calcul sur les données (calcul de ratios), et édition de représentations cartographiques.

Les données TerUti, construites sur un mode très différent, ne peuvent pas être intégrées directement à cette base de données. Par contre, les informations que l'on peut en extraire, y seront intégrées.

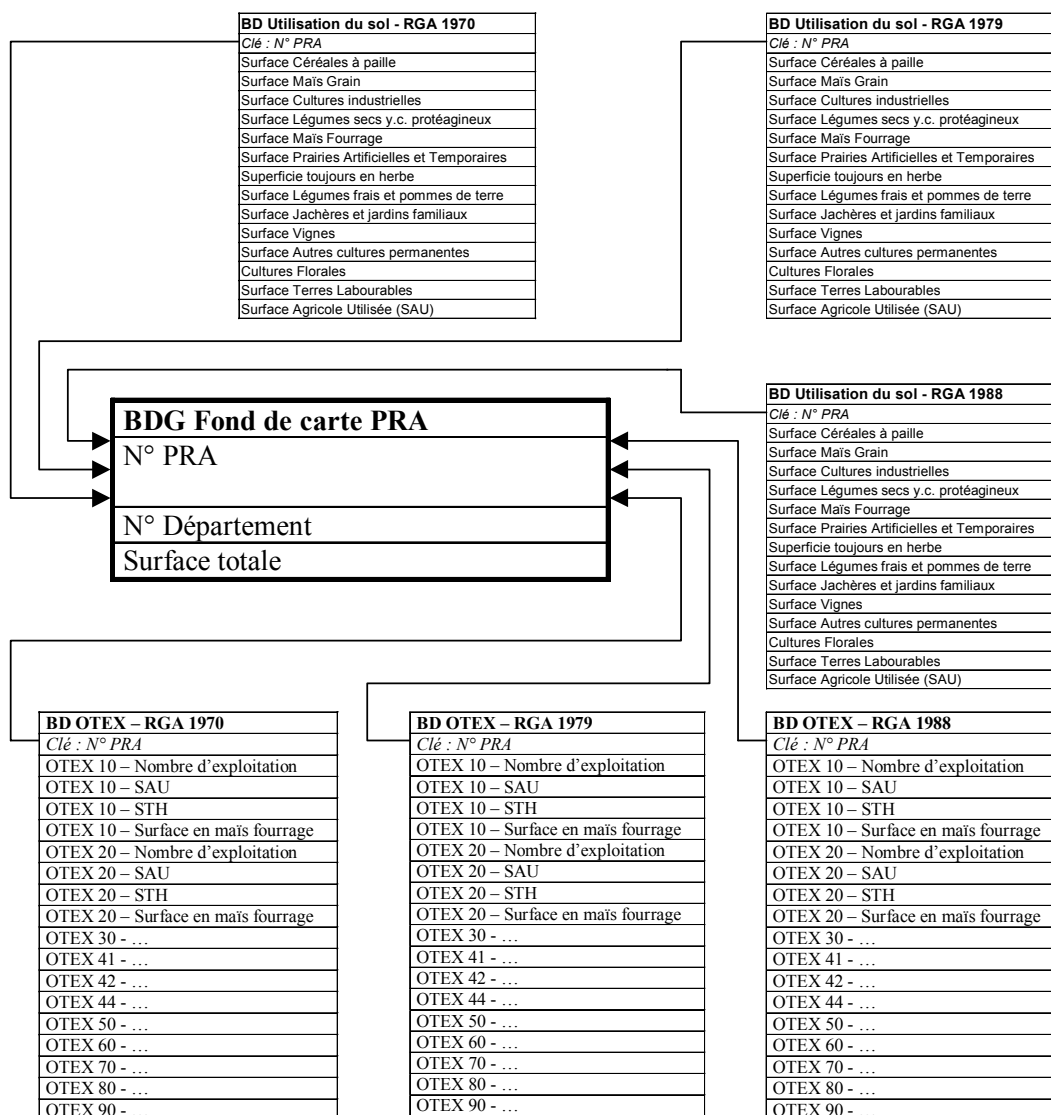


Figure 1 – Organisation de la base de données géographique agricole

3. Evolution des activités agricoles sur l'est du bassin de la Seine depuis 1970

Cette première partie de résultats est divisée en trois chapitres : le premier expose les résultats concernant l'évolution des activités agricoles sur la zone d'étude, appréhendée à partir de l'évolution du classement des exploitations dans la classification des OTEX au cours des trois RGA. Les deux suivants apportent un éclairage sur deux catégories de pratiques agricoles, qui présentent le plus de risques vis-à-vis de la pollution nitrique diffuse : les successions culturales et les pratiques fourragères dans les exploitations d'élevage.

3.1 Evolution des activités agricoles

La démarche que nous avons retenue pour spatialiser l'évolution des activités agricoles sur les trente dernières années, consiste à segmenter le bassin de la Seine en entités spatiales suffisamment homogènes au regard des OTEX qui y sont identifiées. Il s'agit de construire une typologie des PRA en fonction de leur « profil agricole » une année donnée (le « profil agricole » étant défini par la combinaison des OTEX dans chaque PRA), puis de représenter cartographiquement cette typologie. Cette démarche consiste donc à appliquer des techniques classiques d'analyses de données à des individus statistiques qui sont des objets géographiques (Sanders, 1996). L'espace n'est qu'un support, qui n'intervient pas de façon active dans l'analyse et qui n'est reconstitué qu'a posteriori, lors de la représentation cartographique de la typologie obtenue.

Nous avons réalisé une analyse en composantes principales centrée (ACPC) sur les pourcentages de SAU par OTEX et par PRA en 1970. Plutôt que de travailler sur les nombres d'exploitations, nous avons choisi de travailler sur la surface utilisée par chaque type d'activité agricole afin de donner plus de poids à celles qui occupent beaucoup d'espace (et à l'inverse réduire celui des exploitations viticoles par exemple). La position des PRA en 1979 et 1988 a ensuite été projetée en individus supplémentaires sur le premier plan factoriel de l'analyse. Le « déplacement » des PRA entre les trois dates peut ainsi être visualisé et mesuré en calculant la longueur des segments reliant les positions 70-79 et 79-88.

L'ACP a permis de différencier sept classes de PRA selon les activités agricoles qui y sont dominantes (figure 2) :

- PRA de grandes cultures (GC)
- PRA de grandes cultures et de polyculture-élevage (GC – PCE)
- PRA de polyculture-élevage et de grandes cultures (PCE – GC)
- PRA de polyculture-élevage et élevage (PCE – E)
- PRA d'élevage et de polyculture-élevage (E – PCE)
- PRA d'élevage (E)
- PRA de vignoble

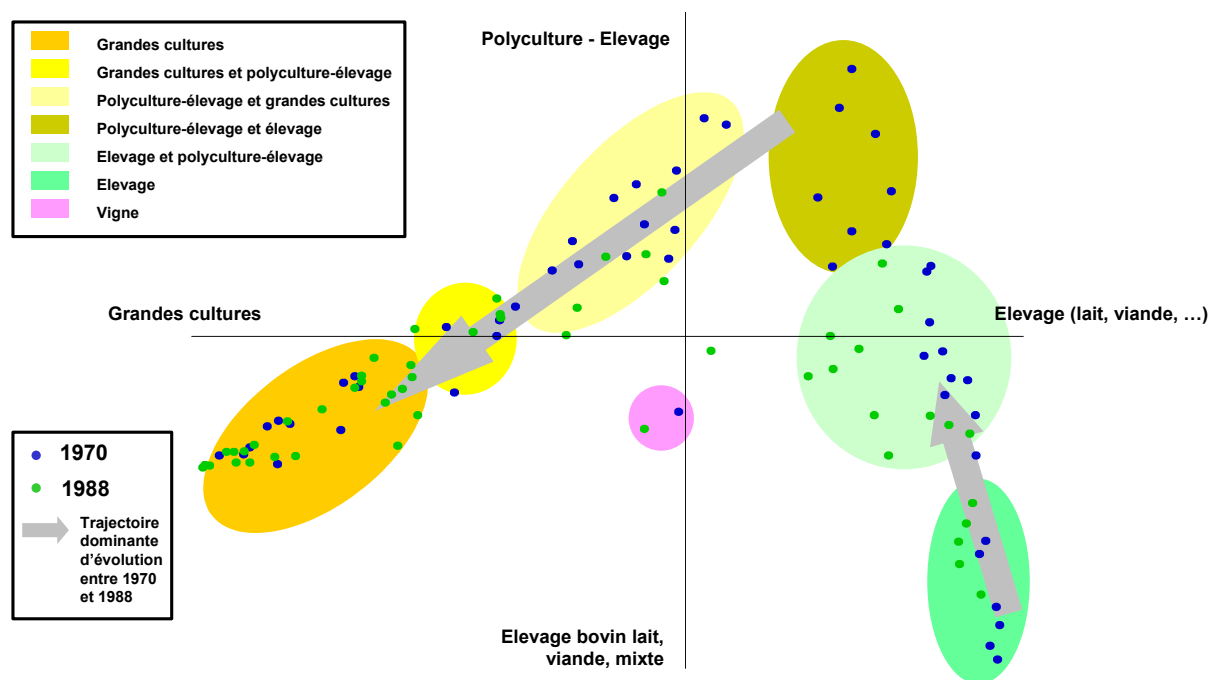


Figure 2 – Typologie des 55 PRA de l'est du bassin de la Seine

La cartographie de ces sept classes permet de donner une image des activités agricoles sur l'est du bassin de la Seine en 1970 (planche cartographique 4). Elle montre la spécialisation agricole de certaines régions, expliquée en partie par les conditions pédo-climatiques qui conditionnent les potentialités agricoles : grandes cultures en Champagne Crayeuse, élevage dans le Morvan et les Ardennes, polyculture-élevage sur les plateaux du Barrois.

Au cours des vingt années qui suivent, certaines PRA ont vu leur paysage agricole se transformer. C'est le cas en particulier des petites régions classées en polyculture-élevage en 1970 qui ont toutes évolué vers plus de grandes cultures en 1988. Une « céréalisation » progressive vers l'est du bassin est ainsi parfaitement visible. Par contre, d'autres PRA n'ont pas subi de grands changements de leurs activités agricoles : la Champagne Crayeuse et les petites régions qui lui sont contiguës, spécialisées dans les grandes cultures, ont évolué beaucoup plus tôt (dans les années 50-60), alors que les régions des vieux massifs cristallins (Morvan et Ardennes) ou des zones très argileuses (Champagne Humide) sont restées spécialisées dans des activités d'élevage.

Les explications de cette évolution et de sa différenciation spatiale (les PRA n'évoluent pas de la même manière selon leur localisation géographique), apparaissent multiples : modification de la Politique Agricole Commune (PAC), conditions agro-climatiques, environnement socio-économique des exploitations (filières d'approvisionnement et de ventes) ou encore nature du tissu agricole et insertion dans des types d'espaces ruraux ou plus urbanisés, sont autant de critères qui font que, selon les lieux, les activités agricoles prennent des formes et suivent des évolutions différentes. C'est toutefois l'ensemble de ces critères qu'il faudra considérer si nous souhaitons construire une vision prospective de l'évolution future des activités agricoles sur le bassin de la Seine.

3.2 Evolution des successions culturales

L'objectif de l'étude des successions culturales est double : (i) développer des méthodes pour identifier les successions culturales pratiquées par les agriculteurs sur un large bassin ; (ii) apporter des informations sur les pratiques agricoles afin d'améliorer la simulation du cycle de l'azote dans le bassin. Les successions culturales sont étudiées à partir des données TerUti qui ne sont pour le moment disponibles qu'à l'échelle des départements. Vu la faible précision spatiale, c'est donc plutôt sur le premier objectif que nous avons travaillé.

Méthode de classification des successions culturales

La méthode retenue est une méthode de dénombrement basée sur l'algorithme de Markov (Mari et Haton, 1998). Elle repose sur l'hypothèse que, même si les règles de successions adoptées par les agriculteurs ne sont pas connues avec précision, dans un système en équilibre sur une parcelle, la règle de succession ne dépend que de l'occupation actuelle de la parcelle et de l'occupation de la ou des deux années précédentes. Nous considérons donc que les successions culturales sont organisées de la façon suivante :

- succession sur trois ans : tête de rotation – céréales à paille – céréales à paille
- succession sur deux ans : tête de rotation – céréales à paille – tête de rotation

Le principe de la méthode consiste donc à identifier les successions commençant par une culture connue en tant que tête de rotation.

Le programme, mis en place par l'équipe de J.-F. Mari du Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications (LORIA), est basé sur un modèle de Markov d'ordre 2. Le choix de ce type de modèle se justifie par sa capacité à extraire des régularités temporelles dans un gros ensemble de données. Il permet une segmentation des données en zones stationnaires ou transitoires qu'un expert peut expliquer.

Dans notre étude, la suite analysée représente la suite des occupations d'une parcelle au cours du temps. La chaîne de Markov cachée qui y est associée est une suite stochastique finie, définie par les probabilités de transition entre états (c'est-à-dire entre occupations du sol) et par les lois de densité associées à ces états. Nous sommes intéressés par la localisation de segments temporels (ou périodes d'observation) pendant lesquels la distribution des cultures ne varie pas. Nous nous limitons donc à des modèles possédant deux ou trois états mais possédant des transitions bouclant sur eux-mêmes (figure 3). Ceci revient à étudier le phénomène sur autant de périodes différentes.

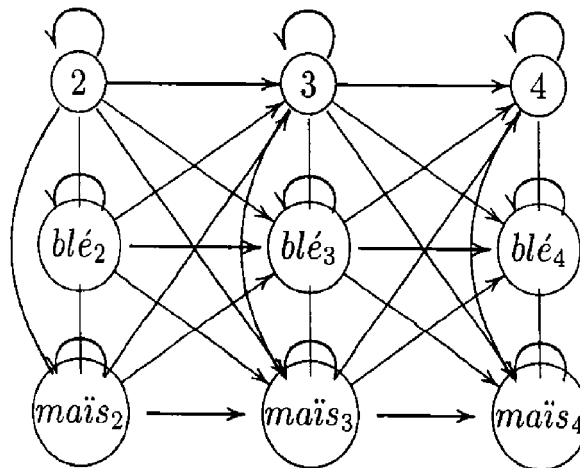


Figure 3 – Représentation du modèle de Markov caché d'ordre 2 (d'après Mari et al., à paraître). Les états notés 2, 3 et 4 sont associés à une distribution de cultures, contrairement aux états dénommés par une occupation. Le nombre de colonnes définit le nombre de périodes d'observation. Les connexions sans flèches représentent des transitions bidirectionnelles.

Nature des successions culturales et évolution depuis 1982

L'ensemble des résultats est présenté en annexe 2 de ce rapport. Globalement, deux types de tête de rotation sont mises en évidence : celles qui sont présentes une seule année (betterave, colza), et celles qui se succèdent à elles-mêmes plusieurs années de suite (maïs, luzerne). Le blé est la culture qui est la plus fréquemment utilisée derrière la tête de rotation. Ces résultats confirment donc notre hypothèse sur l'organisation temporelle des successions culturales : tête de rotation puis céréales à paille.

L'évolution des successions culturales est étudiée sur les séquences 1982 – 1986, 1986 – 1990 et 1992 – 1998. Ces périodes au moins égales à cinq ans permettent de bien prendre en compte l'ensemble des successions triennales. Les résultats montrent une importante évolution des pratiques de gestion des successions sur un laps de temps relativement court. La tendance générale est à la baisse des successions « classiques » sur trois ans, du type « tête de rotation – blé – céréale à paille », au profit de successions plus courtes avec une seule céréale (en général le blé). Les successions majoritaires deviennent donc du type « tête de rotation – blé – tête de rotation ». On peut penser que les incitations financières de la PAC, et en particulier les primes compensatoires pour les cultures du pois et du colza, ont joué sur cette évolution.

Le cas particulier de la culture du maïs, fréquemment pratiquée en monoculture, a également été étudié. Il semble y avoir une augmentation de la pratique de monoculture, notamment dans les départements où l'élevage laitier tient une place importante (Haute-Marne, Aube). Corrélativement, nous notons une augmentation du retournement des prairies à partir de 1992.

Accélération des rotations culturales (passage de successions triennales à des successions biennales) et augmentation de la monoculture de maïs sont donc deux tendances générales d'évolution des pratiques agricoles sur l'est du bassin de la Seine, que nous avons pu identifier grâce au modèle de Markov. Ces tendances nous semblent augmenter les risques de pollution diffuse par les nitrates mais aussi par l'atrazine (désherbant du maïs), car les cultures – têtes de rotation, le maïs et les itinéraires techniques qui leur sont associés sont parmi les plus agressifs vis-à-vis de la qualité de l'eau. Nous ne pouvons toutefois pas nous satisfaire de tendances dégagées à l'échelle de départements. Il nous faudra essayer d'affiner nos résultats en conduisant ce même travail au moins à l'échelle des PRA, qui représentent un niveau compatible avec la segmentation des aquifères.

3.3 Evolution des pratiques fourragères dans les exploitations d'élevage

Les activités d'élevage dominantes dans l'est du bassin de la Seine sont des activités d'élevage bovin, l'élevage hors-sol restant actuellement marginal dans cette région. L'évolution des pratiques fourragères, que nous pouvons schématiquement restreindre à une évolution de la part de l'herbe ou du maïs fourrager dans les rations des animaux, est un bon indicateur de l'évolution des activités d'élevage, qui en outre apparaît pertinente pour évaluer l'évolution des risques de pollution par les nitrates. Les pertes en nitrates et en atrazine sous prairie ou sous maïs sont en effet aux deux extrémités du gradient des risques de pollution (Gaury, 1992 ; Mignolet *et al.*, 1997 ; Heydel, 1998).

Pour évaluer l'évolution des pratiques fourragères à partir des données des trois RGA, nous avons calculé puis cartographié deux ratios représentant leur niveau d'intensification :

- *Surface en Maïs Fourrage (SMF) / Surface Fourragère Principale (SFP)* (sachant que la SFP contient l'ensemble des cultures et prairies destinées à l'alimentation des bovins) : ce ratio, calculé pour toutes les OTEX, y compris celles qui ne correspondent pas à des activités d'élevage, apparaît relativement biaisé, mais il montre un développement important de l'utilisation du maïs fourrage entre 1970 et 1988, toutefois fortement différencié selon les PRA (planche cartographique 5). Ainsi, la Champagne Crayeuse et le Morvan ne sont pas concernés par ce développement, alors que l'Yonne et les régions de polyculture-élevage (Barrois, Argonne, Champagne Humide) le sont fortement. D'autres régions d'élevage, comme les Ardennes et le Bassigny, ont également connu une augmentation des surfaces en maïs fourrage mais plus récemment.

- *Surface en Maïs Fourrage (SMF) / Surface Toujours en Herbe (STH)* : ce ratio, calculé uniquement pour les trois OTEX présentant de l'élevage bovin (élevage bovin laitier, autre élevage bovin, polyculture-élevage), permet de spécifier dans quel type d'exploitation agricole le maïs fourrage est le plus utilisé (planche cartographique 6). Il apparaît clairement à la lecture des cartes que ce sont les exploitations laitières qui en sont les plus grandes utilisatrices. En Champagne Crayeuse et dans l'Yonne, les surfaces en maïs fourrage dans les exploitations laitières s'avèrent même plus importantes que les surfaces en prairies permanentes. En revanche, l'utilisation du maïs fourrage reste faible dans les régions spécialisées en élevage (Ardennes, Thiérache, Bassigny, Morvan), qui demeurent des régions herbagères. Il semble donc que les exploitations d'élevage soient plus intensives en régions de grandes cultures.

4. Spatialisation des pressions agricoles sur la qualité des eaux

Dans un objectif de mise en place d'actions de prévention, les gestionnaires de bassins sont continuellement confrontés à l'évaluation des menaces qui pèsent sur les différents aquifères. La démarche de modélisation entreprise dans le PIREN – Seine devra permettre de répondre à ce type de problème. Toutefois, afin de disposer de paramètres de validation de cette modélisation, il nous paraît important de mettre en œuvre d'autres démarches et de bénéficier d'autres résultats.

L'étude des risques de pollution diffuse par les nitrates nécessite la prise en compte d'une pression polluante, résultat des activités agricoles, et d'une vulnérabilité fonction des caractéristiques physiques des aquifères (alimentation, puissance) et de leur intérêt pour la société. Dans cette étape, nous nous sommes limités à mettre au point une méthode pour suivre l'évolution des pressions agricoles sur les aquifères du bassin.

4.1 Démarche méthodologique

La démarche mise au point (figure 4) repose sur une hypothèse forte, difficilement validable mais inspirée de travaux antérieurs de modélisation de la qualité de l'eau (Deffontaines, 1992) : la pression polluante sur un aquifère est la somme des pressions exercées en chaque point de sa surface. Cette pression est fonction du type d'occupation du sol (forêts, prairies, cultures, ...). Nous privilégions ainsi l'occupation du sol comme facteur dominant des risques de pollution nitrique, en considérant que les pratiques agricoles leur sont fortement liées.

Pour spatialiser les occupations du sol à une échelle compatible à celle de la base de données géographique (BDG) « aquifère » construite par l'équipe de recherche des Mines de Paris (échelle nominale au 1/500000), nous choisissons d'utiliser la BDG CORINE Land Cover réalisée par l'IFEN, dont l'échelle nominale au 1/100000 est suffisante (planche cartographique 7). Compte-tenu des imprécisions de cette base de données pour identifier les différents types d'occupation du sol agricoles (liées à une surestimation des surfaces agricoles et à une sous-estimation des surfaces prairiales), nous nous sommes limités à la différenciation des occupations du sol au niveau 1 de la nomenclature : sols anthropisés, sols agricoles, sols occupés par des milieux « naturels » (forêts, bois et friches), zones humides et surfaces en eau (rivières et lacs). Pour différencier les occupations du sol agricoles, nous avons mobilisé des données issues des RGA à l'échelle des PRA. La concordance entre les maillages en PRA et en ensembles géologiques nous autorise à travailler à cette échelle, même si cela suppose l'homogénéité des pressions agricoles à l'intérieur des PRA (ce qui est vraisemblablement faux et que nous instruirons en 2000 via la spatialisation des pratiques agricoles).

Le calcul du niveau de pression polluante est basé sur l'hypothèse que la pression polluante d'une catégorie d'utilisation du sol est le produit de la surface qu'elle occupe par un indice de pression polluante. Nous ne calculons cette pression que pour les forêts et les terres agricoles, car les autres occupations du sol apparaissent négligeables ou trop difficiles à qualifier (zones humides, zones urbaines). L'indice de pression polluante par les nitrates est établi d'après la bibliographie, à partir des

concentrations moyennes en nitrates observées dans les zones sous-racinaires, dans les exutoires de périmètre de drainage (annexe 3). Le calcul du niveau de pression polluante globale par aquifère correspond à la somme des pressions des terres agricoles et des forêts, divisée par la surface que représente ces types d'occupation du sol.

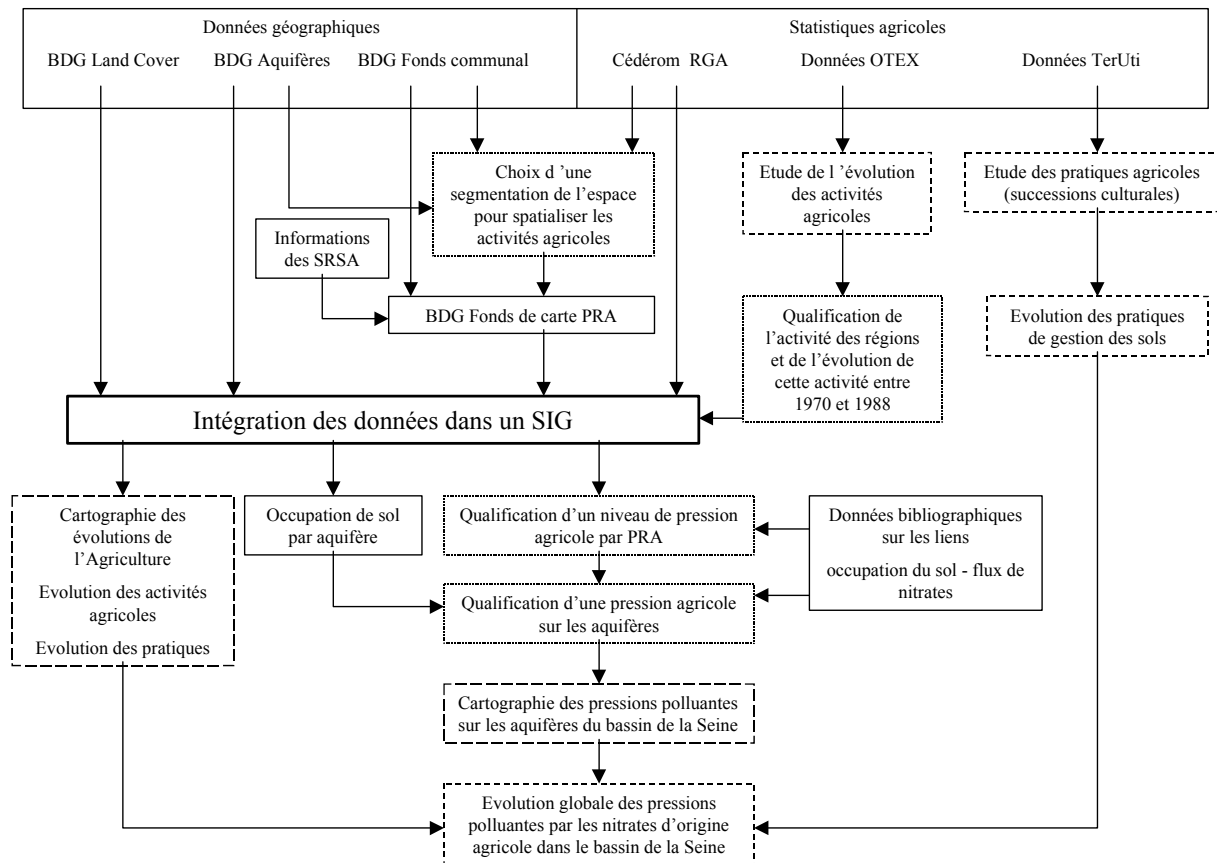


Figure 4 – Schéma d'organisation des données

4.2 Evolution des pressions polluantes par aquifère depuis 1970

La planche cartographique 9 met en évidence les aquifères qui apparaissent les plus menacés par les activités agricoles. Les pressions les plus fortes semblent s'exercer dans le département de la Marne, où l'aquifère crayeux subit de fortes charges. Il en est de même pour les aquifères des vallées alluviales. Les pressions polluantes les plus faibles apparaissent en bordure de bassin, essentiellement dans les zones forestières (Argonne, Morvan).

Nous souhaitons souligner que ces résultats sont à prendre avec de grandes précautions. Outre l'imprécision liée à l'échelle spatiale retenue, ils sont très sensibles aux indices de pression polluante choisis pour chaque type d'occupation du sol, qui peuvent eux-mêmes varier selon les pratiques culturales mises en œuvre. Les impacts des activités agricoles sur les aquifères ne sont donc qu'approximés, et une modélisation plus rigoureuse telle que celle prévue dans le PIREN – Seine nous paraît indispensable. Ceci nous amène à conclure sur la nécessité d'acquérir des informations les plus précises possible sur les pratiques agricoles effectivement employées sur le terrain, et en particulier sur les pratiques de fertilisation, mais également de développer des études empiriques permettant de faire le lien entre ces pratiques et les lixiviations nitriques. Ce type d'étude, qui doit être mené sur le long

terme, est conduit depuis une dizaine d'années sur notre Unité Expérimentale et dans les bassins d'alimentation en eau environnants. Nous manquons par contre de références pour d'autres conditions pédo-climatiques que les nôtres.

5. Perspectives

Ce rapport dresse un premier bilan des différentes données agricoles acquises sur le bassin de la Seine, de l'organisation de la base de données géographique mise en place, et des premiers traitements de données réalisés pour reconstituer spatialement l'évolution des activités agricoles depuis les années soixante-dix et les impacts qui en résultent sur les risques de pollution nitrique des aquifères. Ces travaux préliminaires nécessitent bien entendu d'être complétés, et nous avons pour cela identifié trois principales pistes de recherche :

- **généralisation des résultats obtenus sur l'est du bassin de la Seine à l'ensemble du bassin** : il s'agira de mettre en œuvre les méthodes développées sur notre zone restreinte (en particulier ACP sur les OTEX et traitement par chaîne de Markov des successions culturales) sur les départements que nous n'avons pour le moment pas pris en compte, autour et à l'ouest de Paris. La plupart des données statistiques nécessaires sont d'ores et déjà disponibles, et un affinement des méthodes présentées pourra également être tenté.
- **qualification des pratiques culturales liées aux différentes occupations du sol agricoles** : ces informations, primordiales pour assurer une précision optimale au modèle STICS, seront collectées au cours d'une procédure d'entretiens auprès d'experts de l'agriculture du bassin. Ces experts sont les acteurs du développement agricole (appartenant à des coopératives ou à des organismes de développement) qui sont amenés dans leur travail à observer les pratiques culturales (et en particulier de fertilisation) effectivement utilisées sur le terrain, et à conseiller les agriculteurs pour la mise en place de pratiques plus optimales. Ces enquêtes seront menées par département, qui représente le principal niveau de structuration des organismes professionnels agricoles. D'autres investigations, notamment auprès des lycées d'enseignement agricole qui détiennent des masses d'informations dans les rapports de stage de leurs étudiants, seront éventuellement mises en place pour compléter ce corpus de données.
- **explication de la différenciation spatiale de l'évolution des activités agricoles** : cette question, apparentée au domaine de l'économie géographique (Fujita et Thisse, 1997), se place sur un autre registre que celui lié à la constitution d'une base de données agricoles à des fins de modélisation STICS. Elle nous paraît toutefois importante si l'on veut dépasser l'analyse passée de l'évolution de l'agriculture sur le bassin de la Seine, et adopter une vision plus prospective. Nous avons constaté que les activités agricoles (successions culturales et types d'exploitations) n'évoluent pas de la même façon selon les PRA considérées. Quels sont les facteurs qui font que certaines petites régions se spécialisent en grandes cultures, d'autres en élevage, et que d'autres encore restent plus diversifiées ? Nous mobiliserons là encore les avis d'experts agricoles ayant une longue expérience professionnelle de développement, pour tenter d'accéder aux « pourquoi » des dynamiques agricoles observées. A côté de ces avis d'experts, nous tenterons de croiser les données agricoles que nous avons acquises avec d'autres types de données, qualifiant les espaces urbains et ruraux (Hilal et Schmitt, 1997) ou encore les bassins de collecte des productions agricoles.

6. Références bibliographiques

- Ackerer P., Chardigny E., Lehman F., Mose R., Poulard C., Siegel P., 1997. Modélisation des hydrosystèmes souterrains : identification des paramètres par approche inverse. In *Tendances nouvelles pour la modélisation en environnement*. Elsevier : 173-178
- Amorich S., Giralt A., 1998. L'enquête TerUti : généralités et calcul d'erreur. *Courrier des Statistiques*, 85 – 86 : 27-31
- Brisson N., 1998. STICS : a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. *Agronomie*, 18 : 311 – 346
- CNRS, 1998. *Projet de recherche « Seine » 1998 – 2001*. CNRS, PIREN – Seine, Document de travail : 92 pages
- Deffontaines J.-P., 1992. Place et fonctions de la carte dans le programme de recherche AGREV, sur la réduction des risques de pollution des nappes par une agriculture locale. In *Gestion de l'espace rural et Système d'Information Géographique*. Les Colloques, INRA éditions : 257-265
- Fujita M., Thisse J.-F., 1997. Economie géographique, problèmes anciens et nouvelles perspectives. *Annales d'Economie et de Statistique*, 45 : 37-87
- Gaury F., 1992. Systèmes de culture et teneurs en nitrates des eaux souterraines. Thèse de Doctorat, ENSAR : 210 pages
- Heydel L., 1998. *Diagnostic et maîtrise des contaminations des eaux souterraines par les résidus d'atrazine*. Thèse de Doctorat, INPL : 160 pages
- Hilal M., Schmitt B., 1997. Les espaces ruraux : une nouvelle définition d'après les relations villes – campagnes. *INRA Sciences Sociales*, 5 : 1-6
- Mari J.-F., Haton J.-P., 1998. Automatic word recognition based on Second Order Hidden Markov Models. *Transactions on speech and audio processing*, 5(1) : 22-25
- Mignolet C., Benoît M., Saintôt D., 1997. Systèmes d'élevage et risque de pollution azotée. Construction d'un indicateur de risque et application dans la plaine des Vosges. *INRA, Prod. Anim.*, 10(4) : 275-285
- Sanders L., 1996. La modélisation spatio-temporelle : les différents niveaux d'intégration du temps et de l'espace. in *Etude des Phénomènes Spatiaux en Agriculture*, INRA, Les Colloques, 78 : 329-338
- Vachier P., Dever L., 1990. Qualité des eaux de recharge de la nappe et pratiques agricoles en Pays de Craie. Cas de la Champagne. In *Nitrates – Agriculture – Eau*, INRA éditions : 251-262

Travaux publiés dans le cadre du contrat

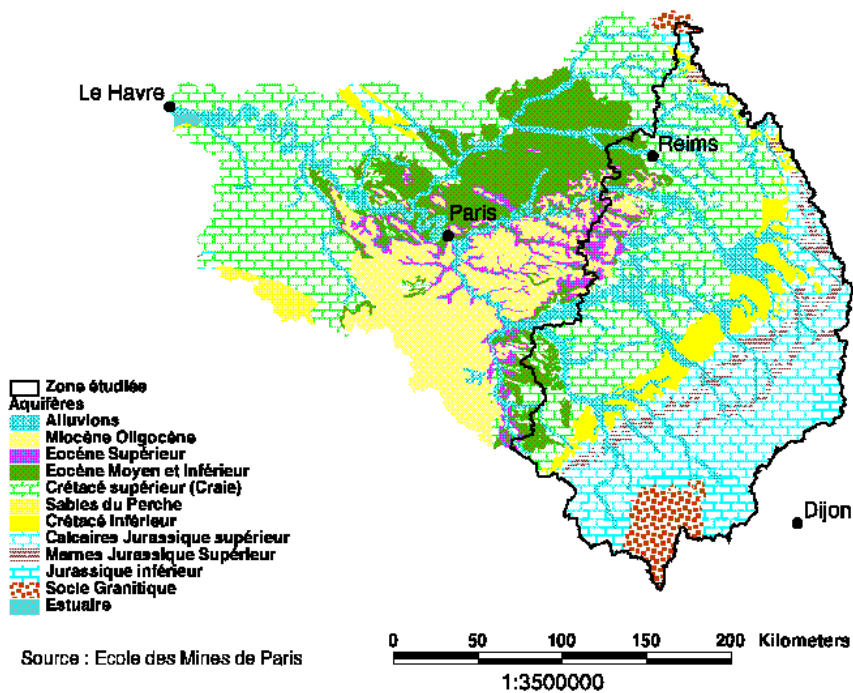
- Caty M., 1999. Evolution des pratiques agricoles et liens avec l'évolution de la qualité de l'eau dans le bassin de la Seine. Mémoire de DEA Systèmes spatiaux et environnement, Université Louis Pasteur de Strasbourg / diplôme d'ingénieur ENGEES : 56 pages + annexes
- Mari J.-F., Le Ber F., Benoît M. (à paraître). Classification de successions culturales par modèles de Markov. Ingénierie des Connaissances
- Mignolet C., Caty M., Benoît M., 1999. Segmentation régionale selon la diversité des systèmes techniques agricoles et leur évolution. Communication à l'Ecole-Chercheur en Economie Spatiale et Régionale, Le Croisic, 8, 9 et 10 décembre 1999 : 12 pages

Planche cartographique 1

Présentation du bassin de la Seine



Affleurement des principaux aquifères



CATY Michael, 1999
INRA-SAD Mirecourt

Planche cartographique 2
Présentation de la segmentation
en Petites Régions Agricoles (PRA).



Localisation en France



— Limite du bassin de la Seine
PRA

ddxx : indicatif de la PRA

Source :
Fonds de carte IGN
SRSA Champagne, Bourgogne et Lorraine

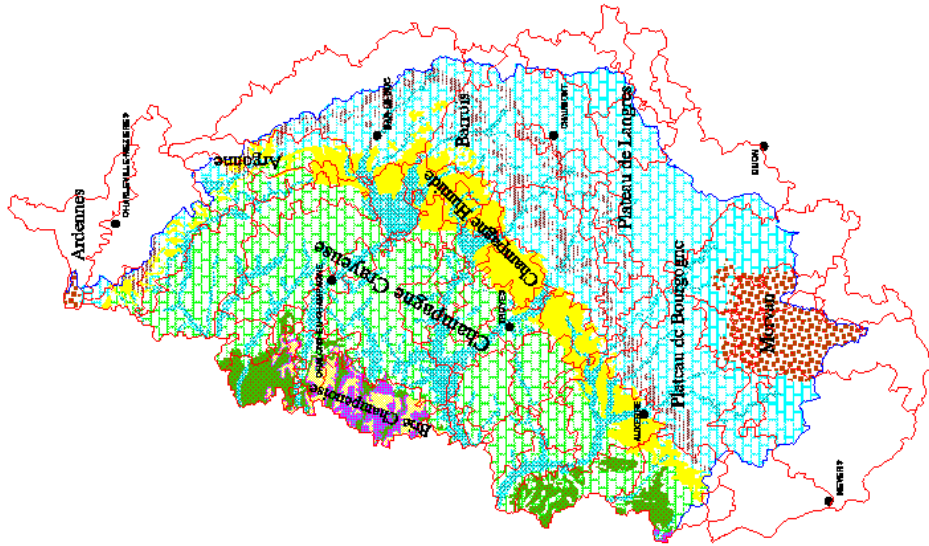


1:1600000

Planche cartographique 3

Etude de la segmentation de l'espace.

Comparaison des limites des PRA avec les grandes unités d'aquifères dans l'Est du bassin de la Seine.



- Limites des PRA
- Limite du bassin de la Seine
- Grands aquifères du bassin de la Seine
- Alluvions
- Miocène Oligocène
- Eocène Supérieur
- Eocène Moyen et Inférieur
- Crétacé supérieur (Craie)
- Sables du Perche
- Crétacé Inférieur
- Calcaires Jurassique supérieur
- Marnes Jurassique supérieur
- Jurassique Inférieur
- Socle Granitique
- Estuaire



Sources :
Ecole des Mines de Paris
Fonds de carte IGN

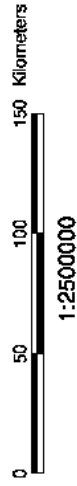


Planche cartographique 4

Etude de l'évolution des activités agricoles dans l'Est du Bassin de la Seine.

Degré d'évolution des activités agricoles dans les PRA entre 1970 et 1988.
Situations en 1970 et 1988.

Principaux types d'exploitation

- GC
- GC - PCE
- PCE - GC
- PCE - E
- E - PCE
- E
- Vigne

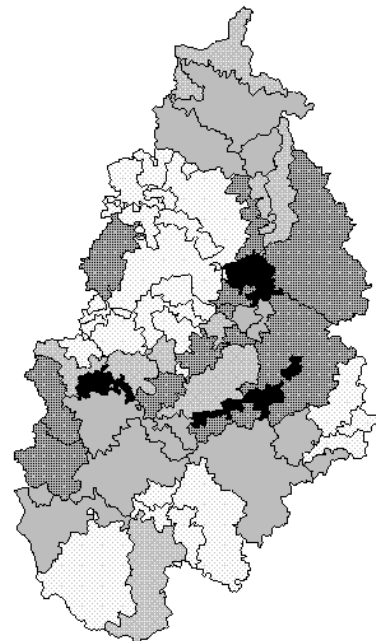
Evolution 1970-1988

- degré croissant d'évolution

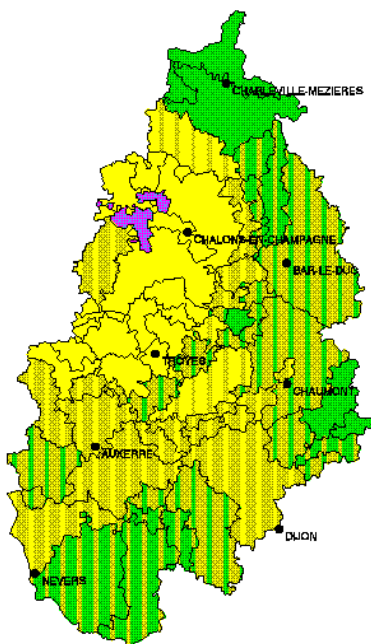
Sources :
SCEES RGA 70-79-88
Fonds de carte IGN



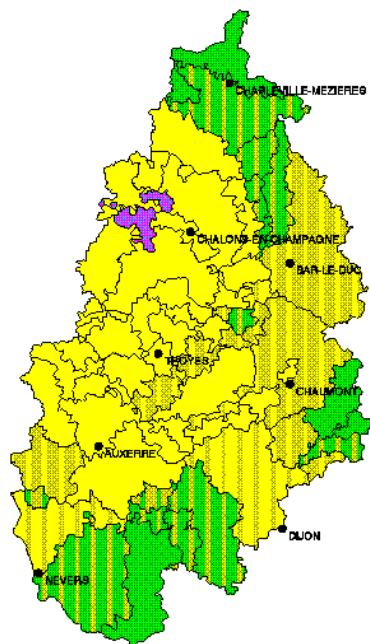
0 50 100 150 Kilometers
1:3500000



Degré d'évolution 70-88



Situation en 1970



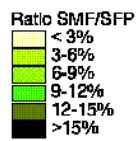
Situation en 1988

M. Caty 1999
INRA SAD Mirecourt

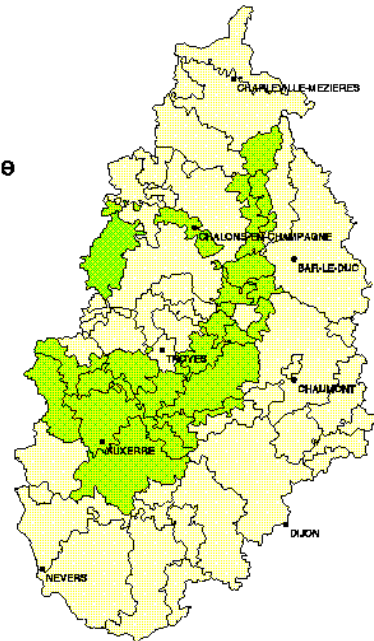
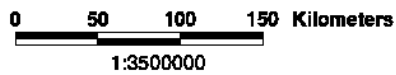
Planche cartographique 5

Etude de l'évolution des systèmes d'élevage.

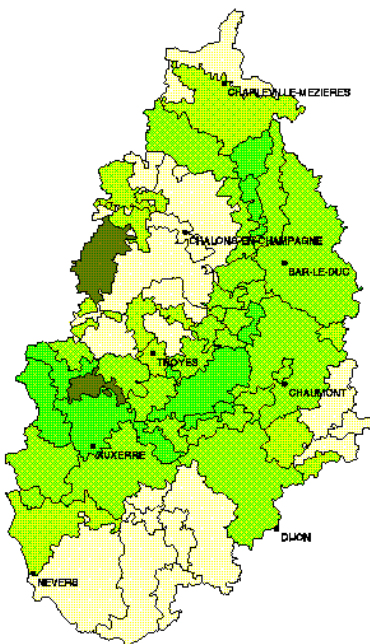
Etude du ratio
surface en maïs fourrage / surface fourragère principale
par type d'activité, par PRA, depuis 1970



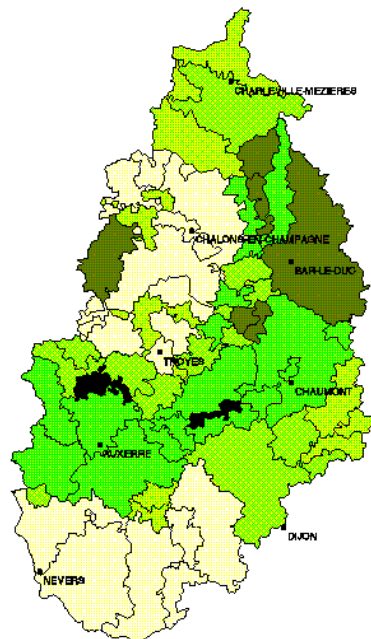
Sources :
SCEES RGA 1970-1979-1988
Fonds de carte IGN



Situation en 1970



Situation en 1979



Situation en 1988

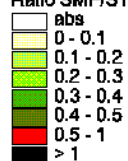
M. Caty 1999
INRA SAD Mirecourt

Planche cartographique 6

Etude de l'évolution des systèmes d'élevage.

Etude du ratio
surface en maïs fourrage / surface toujours en herbe
par type d'activité, par PRA, en 1988.

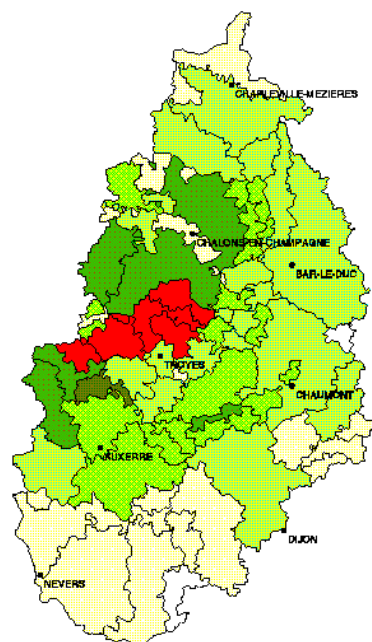
Ratio SMF/STH



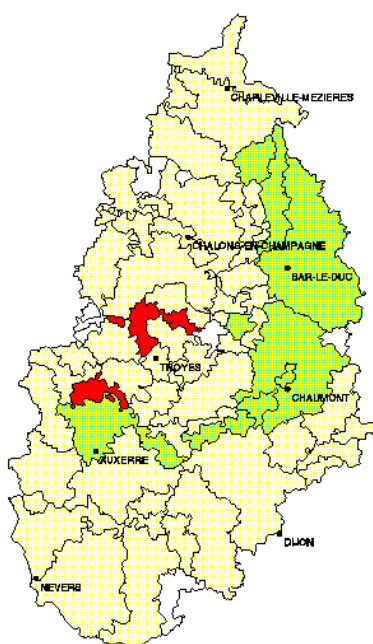
Sources :
SCEES RGA 1988
Fonds de carte IGN

0 50 100 150 Kilometers

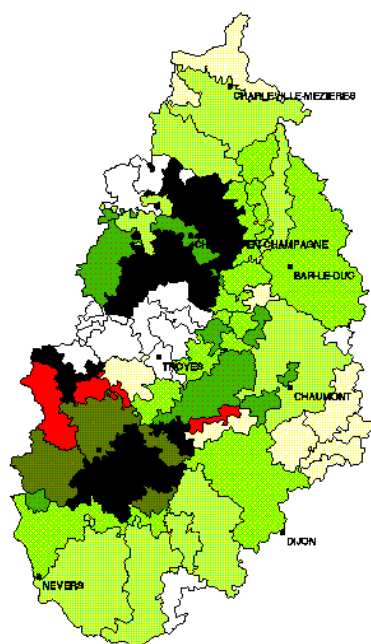
1:3500000



Polyculture élevage



Elevage bovin pour la viande
et le lait



Elevage bovin pour le lait

M. Caty 1999
INRA SAD Mirecourt

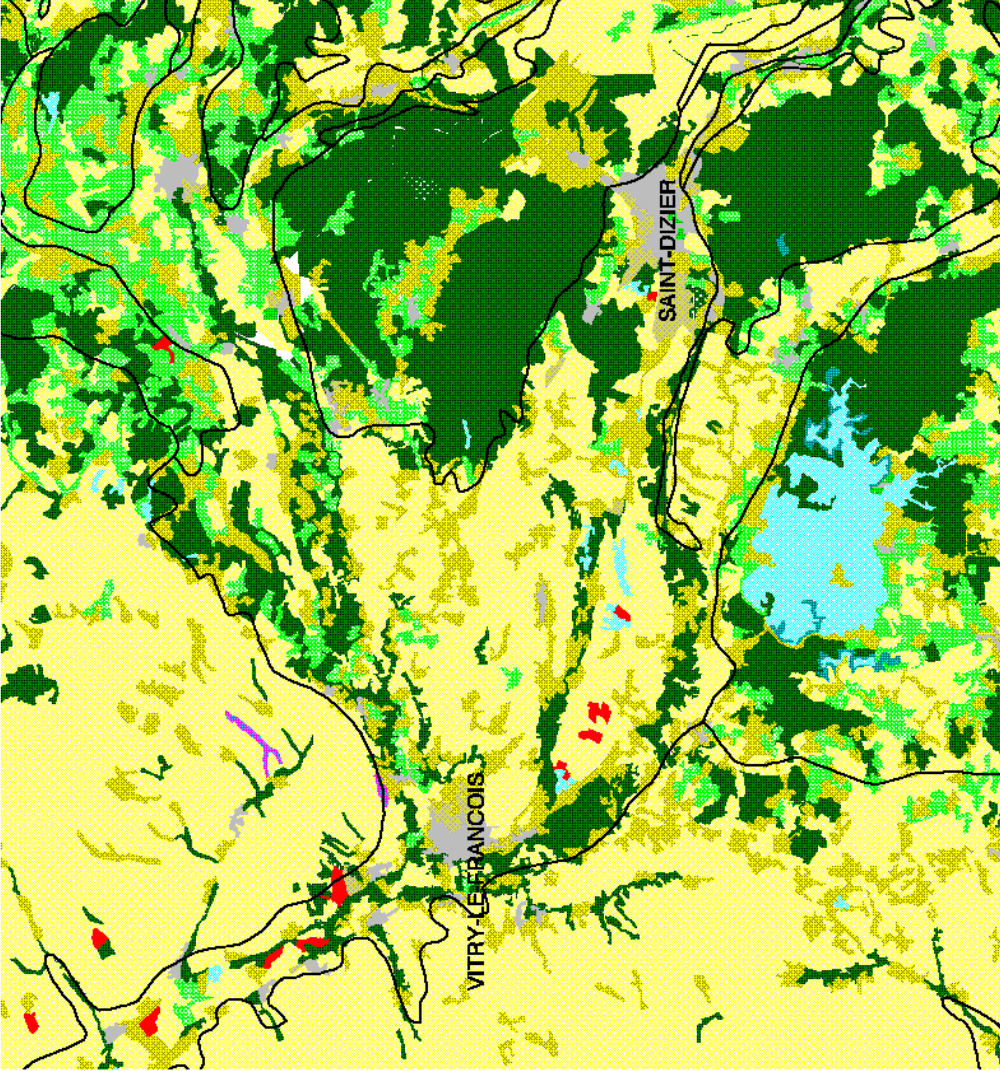


Planche cartographique 7.
 Spatialisation de l'occupation des sols
 avec la BDG CORINE Land Cover

- limites des aquifères
- Occupation du sol
- Zones Urbaines
- ZI, ZC
- Mines et Décharges
- Espaces Verts
- Terres arables
- Cultures Permanentes
- Prairies
- Autres zones agricoles
- Forêt
- Landes et friches
- Espaces ouverts
- Zones humides
- Lacs



Sources :
 IFEN
 Ecole des Mines de Paris



Planche cartographique 9

Etude de l'évolution de la pollution diffuse par les nitrates,
dans le bassin de la Seine

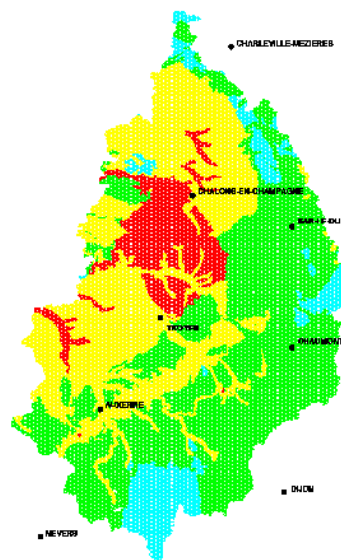
Evolution des pressions polluantes sur les aquifères
depuis 1970.

- Villes
 • Préfecture
 Niveau de Pression Polluante
 0 - 2
 2 - 3
 3 - 4
 4 - 5

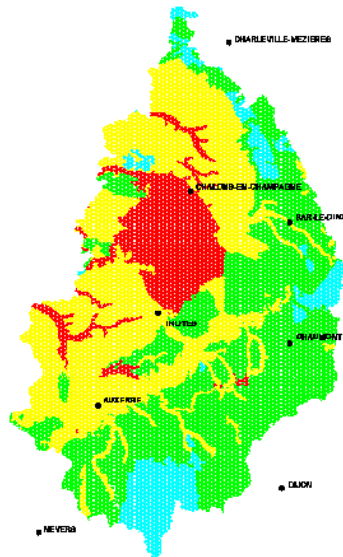
Sources :
 SCEES RGA 70-79-88
 Occupation du Sol d'après IFEN
 Fonds de carte IGN
 Ecole des Mines de Paris



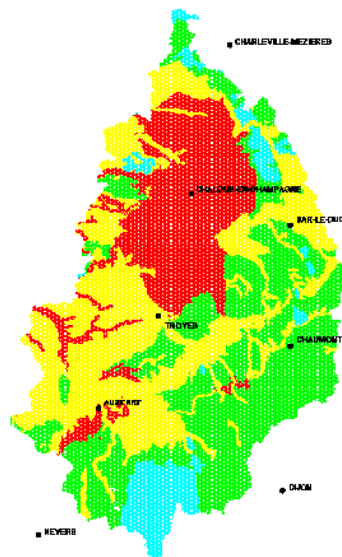
0 50 100 150 Kilometers
 1:3500000



Situation en 1970



Situation en 1979



Situation en 1988

