



HAL
open science

Cartographie communale des teneurs en matière organique des sols bretons et analyse de leur évolution temporelle de 1980 à 1995.

Christian Walter, T. Bouedo, Pierre Arousseau

► To cite this version:

Christian Walter, T. Bouedo, Pierre Arousseau. Cartographie communale des teneurs en matière organique des sols bretons et analyse de leur évolution temporelle de 1980 à 1995.. [Rapport de recherche] Agrocampus Ouest; ENSA de Rennes; UMR SAS, 65 rue de Saint-Brieuc, 35000 Rennes. 1995. hal-02058957

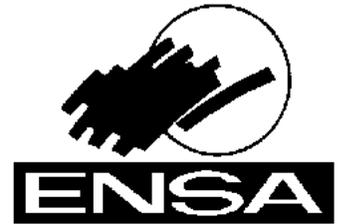
HAL Id: hal-02058957

<https://hal.science/hal-02058957>

Submitted on 6 Mar 2019

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.



*Cartographie communale des teneurs
en matière organique des sols bretons
et analyse de leur évolution
temporelle de 1980 à 1995.*

*Rapport final de la convention d'étude
entre le Conseil Régional de Bretagne et
l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes*

*Etude confiée par la C.O.R.P.E.P à l'ENSAR
(Laboratoire de Science du Sol et Spatialisation Numérique),
financée à parts égales par le Conseil Régional de Bretagne
et l'Agence de Bassin Loire-Bretagne*

*Auteurs de l'étude :
C.WALTER,
T. BOUEDO,
P. AUROUSSEAU*

Septembre 1995

Avant-propos

A la demande du *Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Pesticides* (CORPEP), cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention d'étude associant le Conseil Régional de Bretagne et l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. A ce titre, elle a bénéficié d'un financement du Conseil Régional de Bretagne et de l'Agence de l'Eau Loire - Bretagne.

Les analyses de terre nous ont été fournies par différents laboratoires d'analyses de terre agréés par le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation. Il s'agit des laboratoires suivants :

- Laboratoire de Développement et d'Analyses (LDA 22) à Ploufragan (Côtes d'Armor) ;
- Laboratoire Central de Coopagri Bretagne à Landerneau (Finistère) ;
- Agrilabo à Morlaix (Finistère) ;
- Laboratoire Départemental d'Analyses Agricoles (LDAA 35) à Combourg (Ille-et-Vilaine) ;
- SICA Labo à Vannes (Morbihan).

Conformément au projet d'étude présenté à la CORPEP, une indemnité a été versée aux laboratoires participant à l'étude, pour couvrir leurs frais de mise à disposition des résultats sous forme informatique. La somme des indemnités versées représente la moitié du financement de ce contrat.

Nous tenons à remercier l'ensemble des laboratoires pour leur participation.

Introduction

Le devenir d'un produit apporté au sol, en particulier un pesticide, est le résultat de l'ensemble des processus auquel il est soumis. Il peut être retenu de façon réversible ou non sur la phase solide du sol, il peut être plus ou moins transformé, il peut également être transporté loin du domaine d'application. Le transfert de ce produit vers les eaux superficielles et souterraines dépend ainsi au départ de son devenir au sein du sol.

Les différents modèles simulant le devenir des pesticides dans les sols accordent tous une place centrale à la teneur en matière organique des sols (Wagenet R.J et Rao, 1990 ; Simon ; 1995). En effet, en raison des capacités d'échange élevées de la matière organique, l'adsorption des pesticides dans les sols dépend fortement des teneurs de celle-ci.

Les teneurs en matière organique des sols cultivés en Bretagne varient de 1,5 à 12 %, soit une étendue du même ordre que celle observée au niveau national. L'incidence d'une telle variabilité spatiale sur la mobilité des pesticides dans les sols a été largement démontrée, que ce soit par des approches expérimentales ou par des techniques de simulation (Calvet et al, 1980 ; Calvet et Walter, 1993 ; Lafrance et Banton, 1995).

Il est donc important d'avoir une cartographie détaillée des teneurs en matière organique des sols bretons, pour pouvoir tenir compte des implications de cette variabilité spatiale. Cette cartographie doit être périodiquement renouvelée, parce que les teneurs évoluent dans le temps, à l'échelle de quelques années, du fait des modifications des pratiques agricoles.

La présente étude contribue à la description de la variabilité spatiale des teneurs en matière organique des sols de Bretagne. Pour cela, elle utilise la source d'information représentée par les analyses de terre demandées par les agriculteurs. Ces données sont nombreuses permettant d'avoir une vision exhaustive de l'ensemble du territoire breton, ce que ne permettent pas des approches expérimentales. Par contre, l'absence de maîtrise de l'échantillonnage rend vulnérable sur le plan statistique les paramètres calculés. Les tendances mises en évidence sont donc indicatives et doivent être confrontées si possible à des résultats expérimentaux.

Deux points seront abordés :

1. L'établissement d'une cartographie communale des teneurs en matière organique des horizons de surface des sols cultivés en Bretagne, pour une période intégrant les années 1990 à 1994. Les données utilisées sont les analyses effectuées durant cette période par les laboratoires d'analyses de terre installés en Bretagne et agréés par le Ministère de l'Agriculture.

2. Une étude de l'évolution des teneurs entre 1980-1985 et 1990-1994. Pour cela, on reprendra les données recueillies selon une méthodologie similaire, lors d'une étude précédente (Leleux et al., 1986; Leleux et al., 1988).

Le rapport présente successivement la méthodologie employée et les résultats obtenus.

I. METHODOLOGIE DE L'ETUDE

A. Origine des échantillons

Sur la période d'étude de 1990 à 1994, les résultats concernant 62 877 échantillons pour lesquels une analyse liée à la teneur en matière organique existe, ont été rassemblés¹. Il s'agit de déterminations demandées par des agriculteurs et réalisées par l'un des cinq laboratoires d'analyses de terre installés en Bretagne et agréés par le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.

Ce recueil a supposé un important travail préalable d'homogénéisation des données pour aboutir à un même format de stockage de l'ensemble des résultats (Cf. Annexe B pour une description de ce format). Les difficultés rencontrées ont été par ordre croissant :

- l'absence de norme de format de stockage des résultats analytiques ; chaque laboratoire possède son format d'archivage propre;
- l'absence de programme informatique assurant l'exportation des données archivées hors du système informatique du laboratoire ; ces programmes ont dû être écrits pour cette étude (3 cas sur 5);
- le transfert difficile des données depuis un ordinateur d'archivage sous un système d'exploitation suranné (1 cas sur 5).

Ce bref aperçu des difficultés rencontrées montre que la pérennisation de ce type d'enquête suppose une réelle homogénéisation des formats d'échange et une actualisation des systèmes informatiques des laboratoires.

Les effectifs varient de façon importante d'un département à l'autre (tableau 1). Cela s'explique par une demande en analyses de terre variable selon les départements et par l'absence de la matière organique dans les menus analytiques de base de certains laboratoires.

	<i>Côtes d'Armor</i>	<i>Finistère</i>	<i>Ille-et-Vilaine</i>	<i>Morbihan</i>
Labo 1	2 496	5 272	661	1 124
Labo 2	7	19 594	0	1
Labo 3	1 648	316	10 386	459
Labo 4	0	0	0	14 934
Labo 5	5 979	0	0	0
<i>Total</i>	<i>10 130</i>	<i>25 182</i>	<i>11 047</i>	<i>16 518</i>
<i>Nbre/100 ha de SAU</i>	<i>2.2</i>	<i>5.9</i>	<i>2.3</i>	<i>4.3</i>

Tableau 1 : Nombre d'échantillons par département suivant le laboratoire d'origine.

La localisation géographique détaillée de l'échantillon n'est pas connue : pour des raisons déontologiques, toute référence à une parcelle ou à une exploitation agricole a été supprimée de la base de données. **Ainsi, la commune d'origine de**

¹ Ce rapport se limite à la matière organique des sols. En fait, l'ensemble des résultats analytiques (pH, phosphore, potasse, granulométrie, capacité d'échange) concernant des échantillons d'horizons de surface, a été recueilli et intégré dans une base de données, cela dans le cadre d'une synthèse nationale des analyses de terre confiée à l'ENSA de Rennes et l'ISA de Lille par le Ministère de l'Agriculture.

l'échantillon constitue le repérage géographique le plus précis. L'ensemble des traitements statistiques est donc fondé sur le découpage communal ou éventuellement sur un découpage plus grossier (canton, petite région naturelle).

Le type de culture est connu pour environ 40 % des parcelles. Pour ces dernières, les cultures pratiquées sont de type céréalières, fourragères ou légumières. Les parcelles sous prairies permanentes ou en surfaces boisées représentent moins de 5 % des effectifs.

B. Méthodes

1. le prélèvement d'échantillons composites.

Le prélèvement initial de l'échantillon de surface du sol est pratiqué soit par l'agriculteur demandeur, soit très souvent par un technicien d'une structure de conseil. Dans tous les cas, le mode de prélèvement doit suivre les étapes de la norme X31-100 (AFNOR, 1987) : (i) délimitation de zones homogènes au sein de la parcelle ; (ii) au sein de chaque zone, prélèvements d'environ 15 échantillons élémentaires sur l'épaisseur du labour ; (iii) mélange de ces 15 échantillons pour obtenir un échantillon composite.

Il s'agit donc d'une démarche normalisée visant à obtenir pour chaque parcelle un (ou plusieurs, si la parcelle présente des zones hétérogènes) échantillon composite utilisé pour estimer la valeur moyenne de la propriété au sein de la parcelle.

Les étapes suivantes, réalisées au laboratoire, de préparation de l'échantillon pour essai à partir de l'échantillon brut, font également l'objet d'une norme (X31101, AFNOR, 1987).

Au sein d'une commune, le plan d'échantillonnage des horizons de surface n'est pas raisonné. Il est fondé sur la volonté des agriculteurs de faire une analyse de terre d'une ou de plusieurs de leurs parcelles. Les motivations conduisant à faire des analyses sont de plus diverses : analyses pour remédier à des carences, analyses systématiques, analyses « pour voir »...

Ce manque de maîtrise du plan d'échantillonnage fragilise le traitement statistique ; les risques de biais dans l'estimation des paramètres sont importants. On maniera donc les résultats avec précaution en s'attachant essentiellement aux tendances générales et en abordant avec prudence les particularités locales.

2. les méthodes analytiques.

Deux méthodes d'analyse distinctes sont utilisées par les laboratoires enquêtés pour évaluer les teneurs en matière organique des sols :

*** La détermination du carbone organique ;**

La méthode analytique repose sur une oxydation sulfochromique et suit un protocole normalisé (norme X31-109, AFNOR, 1987).

Cette méthode est retenue par 4 des 5 laboratoires enquêtés pour évaluer la teneur en matière organique des sols à partir du carbone organique ainsi déterminé. Le coefficient permettant de définir le taux de matière organique par multiplication avec la teneur en carbone, varie selon le laboratoire de 1.7 à 2 en fonction des normes d'interprétation retenues.

Les résultats que nous avons demandés aux laboratoires, concernent de ce fait le carbone organique pour éviter toute confusion. Pour rester homogène avec l'étude menée en 1985 (Leleux et al., 1988), le coefficient multiplicateur de 1.72 a été retenu.

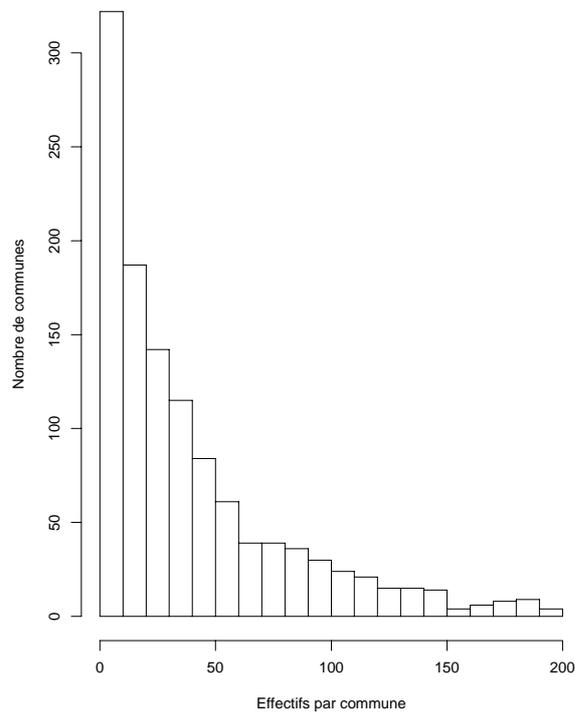


Figure 1 : Histogramme du nombre d'échantillons par commune pour l'ensemble de la Bretagne

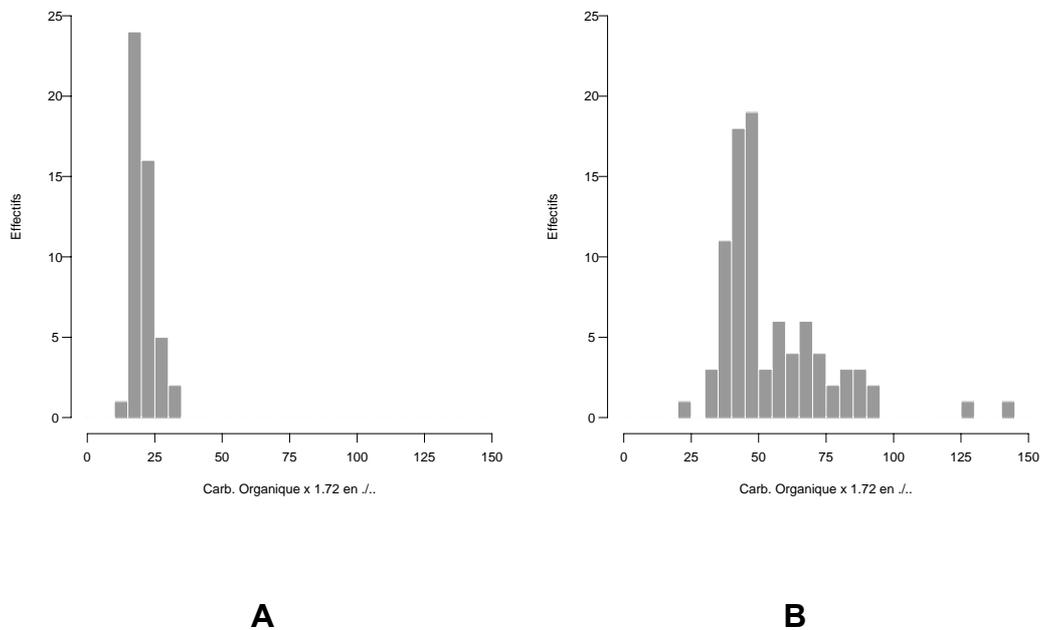


Figure 2 : Exemples de distributions des teneurs en matière organique au sein des communes :
 A. Distribution unimodale à faible variabilité
 B. Distribution plurimodale à forte variabilité.

*** La détermination de l'azote total (méthode Kjeldahl)**

La méthode repose sur une distillation de l'azote ammoniacal formé après minéralisation de l'azote organique. (norme X31-111, AFNOR, 1987).

Cette méthode est retenue par un des cinq laboratoires.

Dans tous les cas, ces méthodes visent à déterminer les quantités totales de matière organique dans les sols. Elles ne permettent pas d'appréhender la qualité de cette matière organique, qui peut être fort diverse en raison des nombreux composés qui la constituent. Une analyse de cette qualité supposerait d'autres techniques analytiques (Gregorich et al., 1995), qui ne sont pas proposées actuellement dans les menus d'analyse de terre.

C. Les traitements statistiques sur la base communale.

1. Démarche générale.

L'ensemble des analyses a été intégré dans une base de données en associant à chaque analyse, des variables caractérisant son origine : numéros de la commune (insee), du canton, de la Petite Région Naturelle (Ministère de l'Agriculture), du département, année, type de culture.

Les traitements statistiques ont été effectués sur la base du découpage communal (1267 communes) de la Bretagne. Pour chaque commune, un ensemble de paramètres statistiques a été calculé pour caractériser le plus précisément possible la distribution du taux de matière organique en son sein. Ces paramètres sont pour chaque commune :

- effectif
- moyenne, écart-type
- premier décile, quartile inférieur, médiane, quartile supérieur, dernier décile.

Des méthodes statistiques non paramétriques (c'est à dire dont l'interprétation ne suppose pas d'hypothèse sur la loi de distribution) ont été privilégiées. En effet, ces méthodes sont plus appropriées pour décrire les situations rencontrées avec des effectifs par commune très variables, de 0 à 200 (Figure 1) et avec des distributions de formes diverses (Figure 2).

2. Prise en compte des deux méthodes analytiques

La relation entre les deux méthodes d'estimation de la matière organique du sol, par le carbone ou par l'azote, n'est pas constante : les proportions relatives de ces deux éléments dépendent en particulier de la qualité de la matière organique du sol. Il semble ainsi impossible de faire un calcul statistique mélangeant les résultats analytiques provenant des deux types de méthode.

Nous avons donc préféré procéder en plusieurs étapes :

- effectuer indépendamment les calculs statistiques d'une part pour le carbone organique, d'autre part pour l'azote total ;
- préférer l'estimation obtenue à partir du carbone organique, dès lors que le nombre d'échantillons par commune est supérieur à 20 pour cette méthode ;
- si ce nombre est inférieur à 20, on retient l'estimation, carbone organique ou azote total, pour laquelle l'effectif est le plus grand.

De la sorte, pour une commune, les paramètres statistiques sont estimés soit à partir du carbone organique, soit à partir de l'azote total, la méthode retenue étant indiquée dans la base de données. En appliquant ces règles, l'estimation s'est faite à partir du carbone organique pour 1167 communes et à partir de l'azote total pour 98 communes toutes situées dans les Côtes d'Armor.

Pour pouvoir représenter sur un même document cartographique ces différentes données, nous avons cherché des coefficients de passage. Pour cela, nous avons comparé les médianes du carbone organique et de l'azote total pour les 36 communes des Côtes d'Armor ayant des effectifs supérieurs à 20 pour les deux méthodes. En fixant au départ le coefficient multiplicateur de 1.72 pour passer du carbone organique à la matière organique, une procédure de régression linéaire nous conduit à l'équation suivante:

$$\text{Médiane}(\text{Carbone Organique}) \times 1.72 = \text{Médiane}(\text{Azote total}) \times 16$$

Les médianes ainsi calculées par les deux approches sont dès lors comparables, comme montre la figure 3, malgré certains écarts importants.

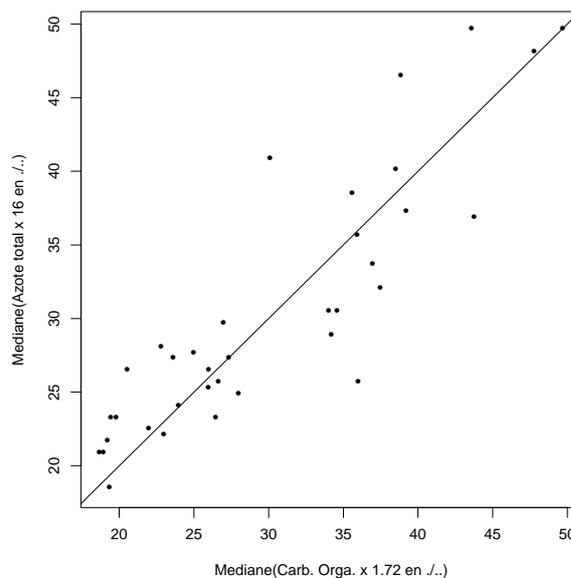


Figure 3 : Comparaison des médianes communales du taux de matière organique obtenues d'une part par des mesures du carbone organique (x 1.72 par convention), d'autre part par des mesures de l'azote total (x 16, suite à une régression linéaire).

D. Comparaison des médianes communales entre 1980-85 et 1990-95

1. Principales caractéristiques de l'étude menée en 1985.

Une étude basée sur les mêmes principes a déjà été menée en Bretagne sur des données plus anciennes (Leleux et al., 1987; Leleux et al., 1988). Les auteurs avaient fait la synthèse des analyses de terre sur cette région au cours de la période 1980-1984. Les laboratoires avaient transmis les résultats concernant 28 600 échantillons pour lesquels la teneur en matière organique était connue.

Les techniques d'échantillonnage et les méthodes d'analyse sont identiques à celles décrites précédemment (§ I.B).

Il est donc intéressant d'utiliser ce jeu de données pour mettre en évidence une éventuelle évolution des teneurs en matière organique. Pour ce faire, nous disposons de l'ensemble des données de l'époque, à savoir les résultats des 28 600 échantillons.

2. Comparaison des teneurs médianes.

L'objectif est de comparer les positions (médianes ou moyennes) des teneurs en matière organique au sein des communes à partir des échantillons provenant des deux périodes différentes.

Pour cela, nous sommes obligés de poser certaines hypothèses :

a) *l'échantillonnage est représentatif de l'ensemble de la variabilité de la population étudiée, à savoir les parcelles cultivées d'une commune.*

b) *les échantillons provenant des deux périodes sont indépendants.*

Il ne s'agit pas des mêmes parcelles analysées à deux dates différentes, mais de deux tirages indépendants de la même population, à deux dates différentes.

Ces deux hypothèses sont a priori raisonnables par rapport à notre jeu de données. Les risques de biais sont cependant réels : une proportion importante d'échantillons provenant d'une même exploitation s'oppose à l'hypothèse a) ; une même parcelle suivie aux deux dates contrarie l'hypothèse b).

Le test utilisé est un test de Mann-Whitney-Wilcoxon (Sprent, 1992 ; Statistical Sciences Inc, 1991). Il s'agit d'un test non paramétrique, basé sur la somme des rangs, pour lequel nous testons l'hypothèse nulle : « les médianes aux deux dates sont identiques » avec un niveau de signification de 0.05.

II. RESULTATS

A. Carte communale du taux de matière organique à partir des données 1990-94

1. Variabilité globale des teneurs en matière organique

Les teneurs en matière organique dans l'échantillon considéré varie de 12 à 150 ‰, avec un premier décile à 23 ‰ et un neuvième décile à 70 ‰ (Figure 4 A.). Cette étendue est très importante ; elle traduit une variabilité des teneurs en matière organique des sols bretons du même ordre que celle observée sur l'ensemble du territoire français (Figure 4.B).

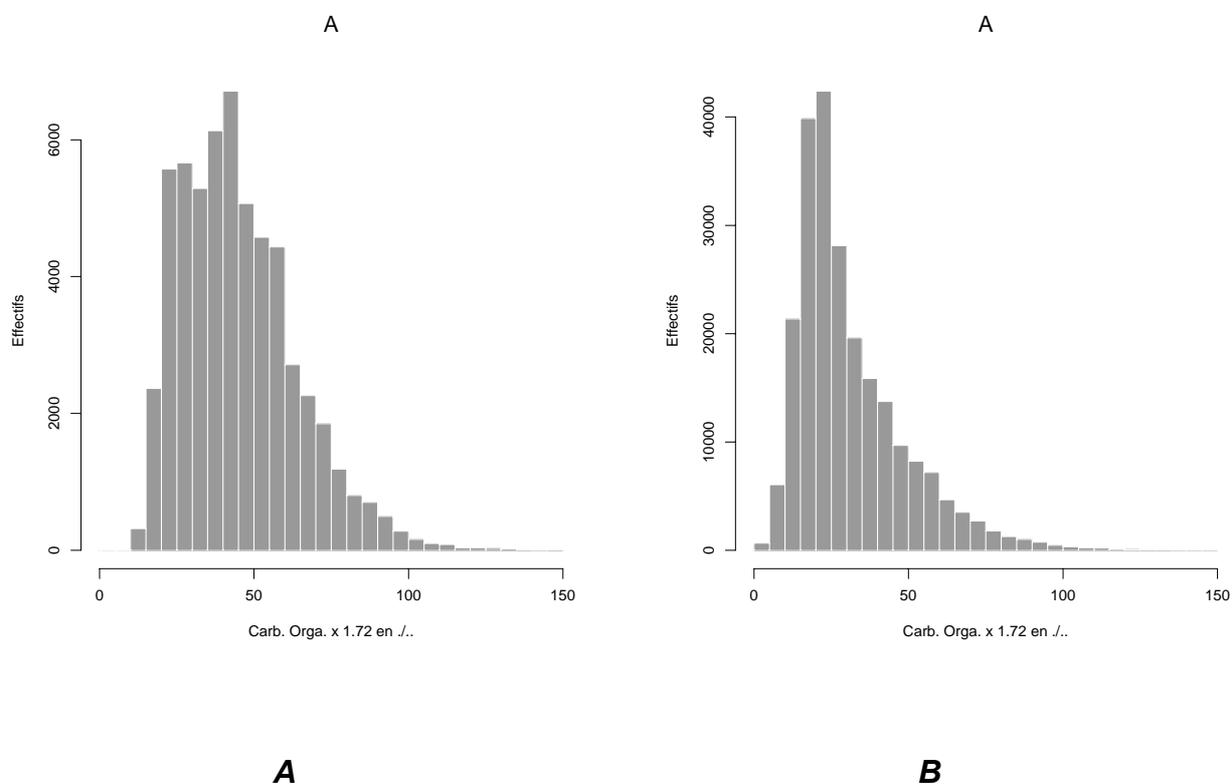


Figure 4 : Variabilité des teneurs en matière organique des horizons de surface de sols cultivés en Bretagne et en France, sur la période 1990-94.

A : Histogramme de la matière organique en Bretagne (57 000 échantillons)

B : Histogramme de la matière organique en France (231 000 échantillons)

2. Les distributions de teneur au sein des communes.

L'origine communale de chaque échantillon étant connu, des paramètres statistiques décrivant la distribution des teneurs au sein des communes ont pu être calculés (§I.C).

a) Intérêt du découpage communal

Le découpage communal étant peu lié à des considérations de milieu, la question se pose de la pertinence de ce découpage comme base de stratification pour décrire la matière organique.

Or, la moyenne des écarts-type des distributions au sein des communes est de 9.7 ‰. Elle est très inférieure à l'écart-type de la distribution sur l'ensemble de la Bretagne qui est de 18.7 ‰. Cela démontre l'intérêt du découpage communal pour décrire la variabilité spatiale des teneurs en matière organique, la variabilité intra-communale étant beaucoup plus faible que la variabilité générale. L'explication de cet intérêt tient dans la forme de la structure spatiale de cette variabilité (§II.B.3).

b) Teneurs médianes et variabilité intra-communale.

L'histogramme des médianes des teneurs communales (Figure 5.A) présente une allure similaire à celui de l'ensemble des échantillons, mais nettement plus lissée : pour les communes avec un effectif supérieur à 15, les médianes varient de 17.6 ‰ à 83.8 ‰.

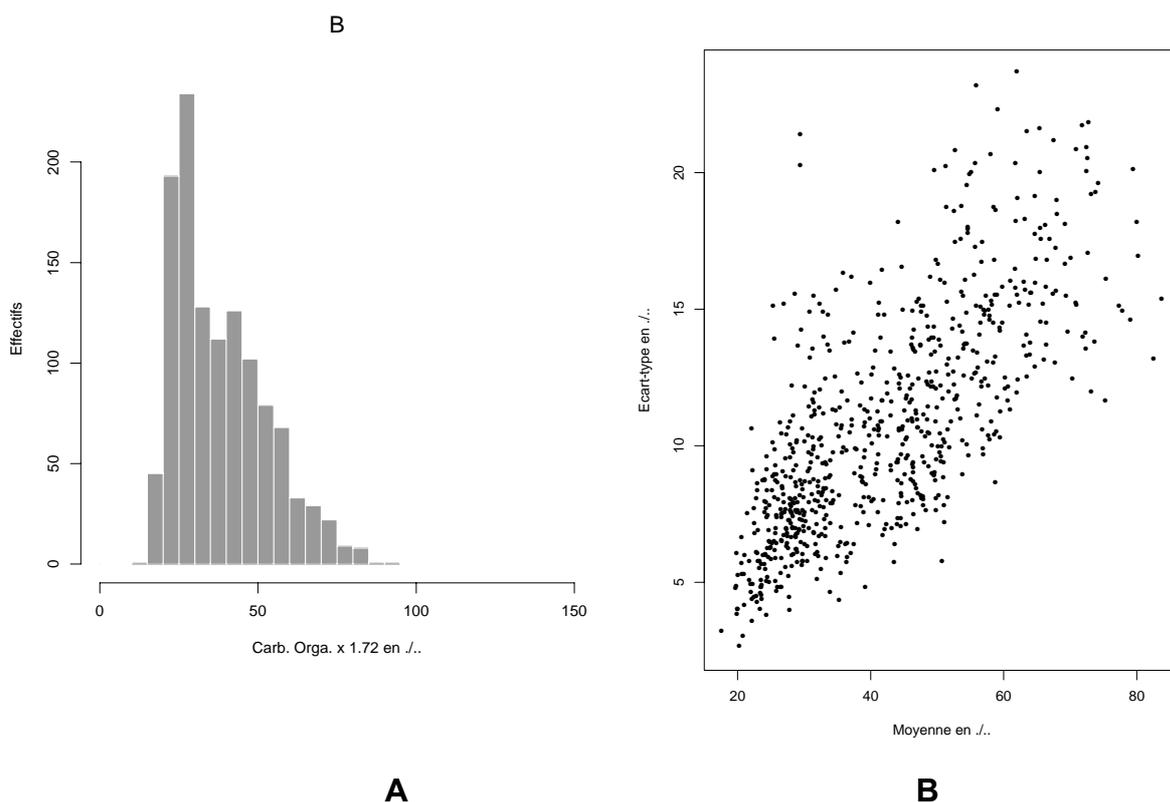


Figure 5 : Statistiques des teneurs en matière organique au sein des communes.

A : Histogramme des teneurs médianes en matière organique pour 1167 communes.

B. Représentation de l'écart-type intra-communal en fonction de la moyenne intra-communale pour 748 communes pour lesquelles l'effectif est supérieur à 15.

La représentation des écarts-type intra-communaux en fonction des teneurs moyennes (Figure 5.B) montre une relation croissante très nette entre les deux paramètres statistiques. Ainsi, la variabilité intra-communale n'est pas la même quelle que soit la commune : elle est en général faible pour les communes à faible valeur médiane, elle est forte dès lors que les teneurs médianes ou moyennes sont élevées. Ce phénomène pouvait déjà être perçu dans les exemples de la figure 2 : pour la commune à teneur médiane de 20 ‰, l'étendue était de 17 à 35‰, pour celle à teneur médiane de 55 ‰, cette étendue était de 30 à 130 ‰.

L'existence d'une variabilité intra-communale plus forte dès lors que les teneurs médianes sont élevées, doit être conservée à l'esprit lors de la lecture des documents cartographiques (Cf. Infra).

3. Analyse cartographique

L'intégration des paramètres statistiques dans un système d'information géographique (ESRI, 1994) permet la cartographie de ces différents paramètres.

a) Les effectifs

La densité d'échantillonnage par commune (Figure 6) est en général d'un échantillon pour 25 à 60 hectares de surface totale d'une commune. Mais, une hétérogénéité importante existe. Certaines régions présentent une densité d'échantillonnage élevée, en particulier le nord du Finistère ou l'est du Morbihan. A l'opposé, une grande proportion des Côtes d'Armor et certains secteurs de l'Ille-et-Vilaine présentent une densité d'échantillonnage faible pour des raisons qui peuvent être multiples : faible demande d'analyses de terre, absence de la matière organique dans les menus analytiques de base, faible proportion de zones cultivées au sein des communes.

b) La carte des teneurs médianes.

La représentation des teneurs médianes n'est faite que pour les communes avec un effectif supérieur à 5 (Figure 7).

Cette carte montre une structure spatiale très ordonnée des taux de matière organique à l'échelle de la région, avec les principales caractéristiques suivantes :

*** une tendance générale d'un gradient croissant depuis le nord-est vers l'ouest et le sud-ouest.**

Les teneurs médianes en Ille-et-Vilaine, le nord du Finistère et des Côtes d'Armor, sont inférieures à 30 ‰. Elles croissent de façon continue vers le sud-ouest et l'ouest jusqu'à des valeurs de 50 à 80 ‰.

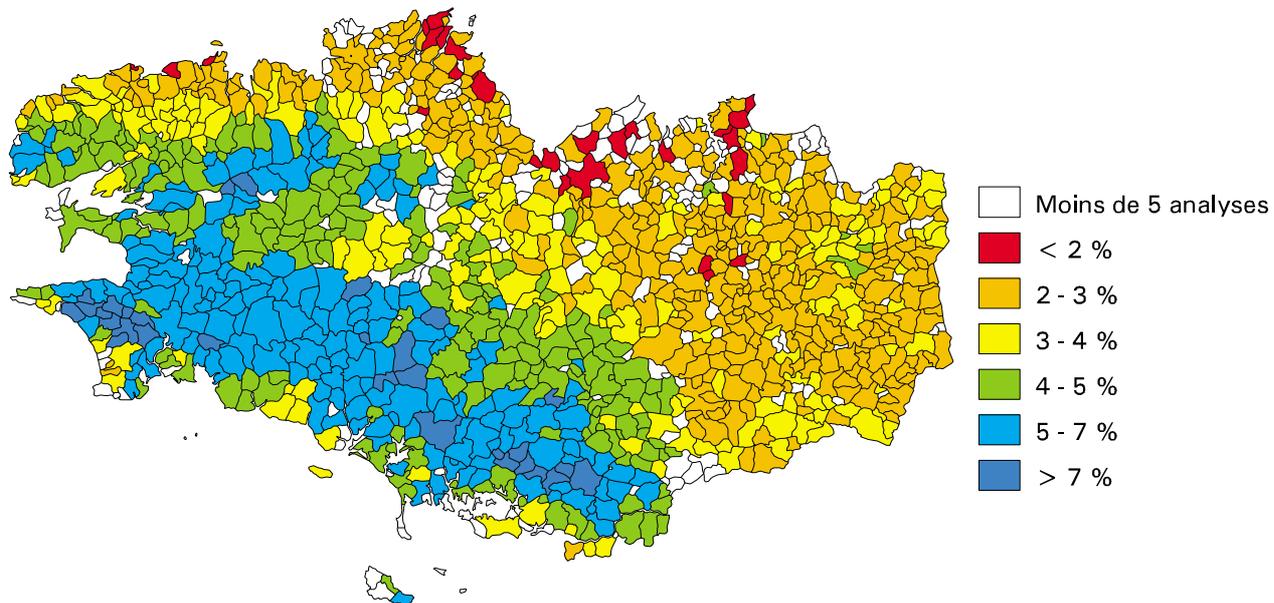
Ainsi, depuis le bassin de Rennes jusqu'à la région de Questembert, on passe de teneurs médianes de l'ordre de 25 ‰ à des teneurs de l'ordre de 80 ‰ de façon progressive en une centaine de kilomètres. La transition est plus rapide au nord-Finistère : entre le Huelgoat et la région de St Pol de Léon, elle se fait sur une distance de l'ordre de 40 km.

*** des tendances de portée moins étendue**

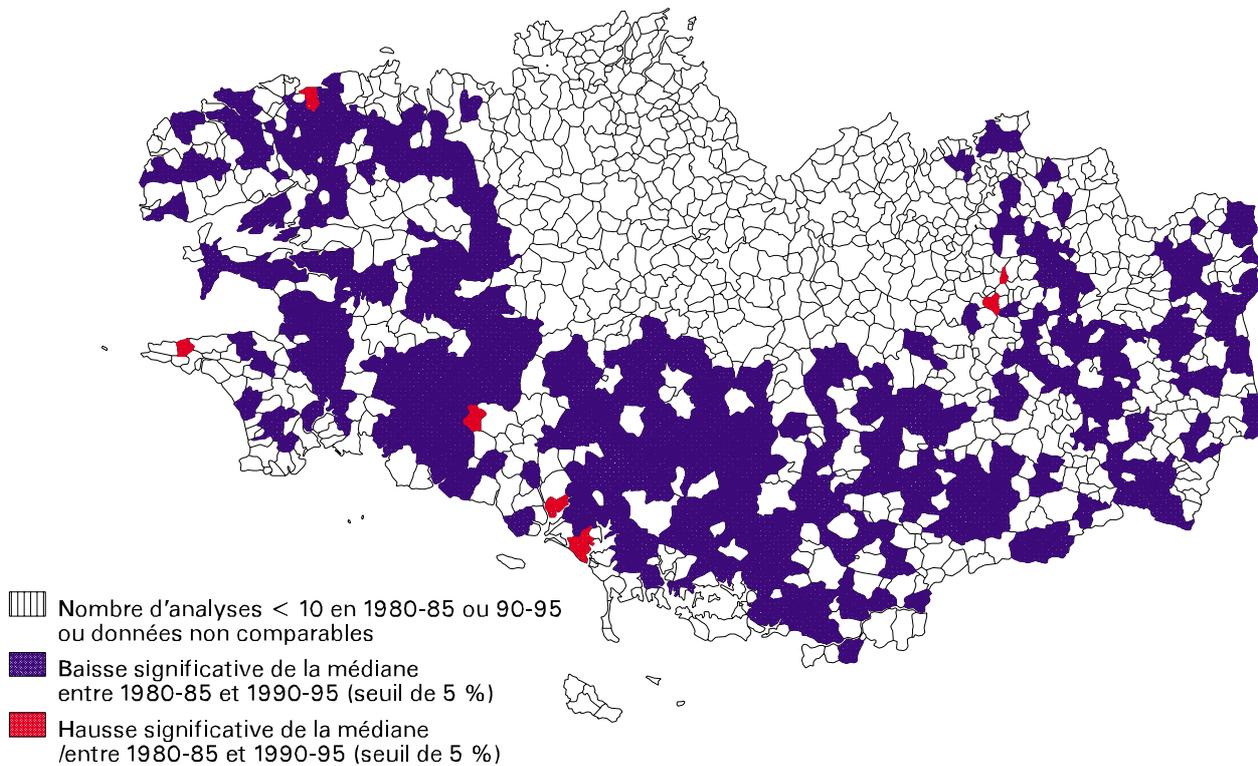
Les teneurs en matière organique sont plus faibles en règle générale le long du littoral, par exemple dans le sud du Finistère et du Morbihan.

D'autres structures, plus délicates à décrire, existent : ainsi, on observe par exemple une zone à teneurs médianes plus élevées dans la partie centrale de l'Ille-et-Vilaine, par rapport au reste du département.

Médiane communale du taux de Matière organique: données 1990-1994



Evolution des teneurs en matière organique



Cette structure spatiale clairement mise en évidence par la cartographie des médianes correspond à celle décrite par Leleux et al. (1988) et se trouve ainsi validée par un jeu de données plus important.

Une modélisation de cette organisation spatiale est en cours. Les principaux déterminants envisagés sont : la pluviométrie et la température, l'extension des limons éoliens, la nature du substrat du sol, l'historique des systèmes de production.

c) Visualisation cartographique de la variabilité intra-communale

La représentation cartographique des quartiles inférieurs et supérieurs complète l'information fournie par les médianes. La structure générale de ces deux cartes (Figure 8A et 8B) est identique à celle de la médiane, d'un gradient nord-est à sud-est.

Mais, la variabilité au sein des communes apparaît clairement : entre les quartiles supérieurs et inférieurs, les différences de teneur sont de l'ordre de 10 ‰ depuis le nord-Finistère jusqu'en Ille-et-Vilaine ; elles sont de 20 ‰ en Finistère-sud et Morbihan. Cette variabilité souvent importante doit donc être prise en compte.

La carte représentant les quartiles inférieurs permet également d'identifier les zones où de nombreuses parcelles présentent des teneurs en matière organique particulièrement faibles. Par exemple, pour des communes de l'ouest et du nord de l'Ille-et-Vilaine, plus de 25 % des analyses ont des teneurs inférieures à 20 ‰.

Ainsi, la variabilité des teneurs au sein des communes est d'autant plus grande que les teneurs médianes sont élevées. Les déterminants de cette variabilité interne sont nombreux : variabilité du milieu physique (topographie, substrat géologique et type de sol), mais également variabilité des systèmes de culture pouvant conduire à des statuts organiques différents (Keli Zagbahi, 1984; Boiffin et al., 1990; Arrouays, 1994).

Conclusion sur la cartographie communale.

L'étude statistique et cartographique des analyses de la matière organique des sols sur la période 1990-1994, confirme la tendance majeure de cette variabilité en Bretagne, déjà décrite par Leleux et al. (1988) : un gradient nord-est à sud-ouest avec des teneurs variant de façon continue de 20 à 80 ‰.

La présente étude, à partir d'un échantillonnage plus important, décrit de plus la variabilité intra-communale. Elle fournit les paramètres statistiques permettant de caractériser la distribution des teneurs au sein de chacune des 1267 communes de Bretagne. Ces paramètres sont fournis sous forme de fichiers informatiques (Cf. Annexes A) permettant leur intégration dans toute base de données.

B. Evolution temporelle des teneurs entre 1980-84 et 1990-94.

Dans cette partie, nous comparons les statistiques communales établies à partir des deux jeux de données existants, 1980-84 et 1990-95, pour mettre en évidence une éventuelle évolution temporelle des teneurs.

1. Comparaison de l'échantillonnage sur les deux périodes.

L'échantillonnage dont on dispose pour la période 1980-84 (28 600) est plus faible que celui de la période 1990-94 (62 877). De plus, la densité d'échantillonnage (Figure 9) est différente de celle observée précédemment (Figure 6) : lors de la période 1980-84, le Finistère représentait le secteur le moins bien représenté ; en 1990-94, il s'agit des Côtes d'Armor. En combinant les deux cartes d'effectifs, on perçoit qu'une évolution sera difficile à confirmer sur le plan statistique pour ces deux départements, sous-échantillonnés pour l'une ou l'autre des deux périodes.

Un autre facteur nous conduit à ne pas mener d'analyse pour les Côtes d'Armor : les fichiers d'archives n'ont pas conservé trace de la méthode de détermination (carbone ou azote) de la matière organique. Le risque de comparaison de paramètres établis à partir de méthodes différentes, risque spécifique à ce département, est donc élevé et nous préférons exclure l'ensemble de ce département de l'analyse.

2. Comparaison des teneurs moyennes ou médianes

a) Relations entre les deux dates.

La comparaison des teneurs moyennes (ou médianes) calculées pour les deux périodes, montre une corrélation linéaire très forte (0.86) entre les deux estimations (Figure 10.A), en considérant les communes (hors Côtes d'Armor) d'effectif supérieur à 5 aux deux dates. Il apparaît également une tendance générale de baisse des teneurs moyennes pour la période 1990-94 par rapport à celle de 1980-84.

Pour mieux cerner cette évolution et rendre l'analyse plus robuste, nous ne conservons que les 298 communes pour lesquelles l'effectif aux deux dates est supérieur à 20 : il s'agit pour l'essentiel de communes de l'Ille-et-Vilaine et du Morbihan (Cf. figures 6 et 9). Pour ces communes, la relation linéaire des estimations aux deux dates est renforcée, la corrélation étant de 0.96 (Figure 10.B). Une régression linéaire par moindres carrés conduit aux relations suivantes :

$$\begin{array}{ll} \text{médiane [90-94]} = 0.847 \text{ médiane[80-84]} & (r^2=0.98 ; \text{écart-type résiduel} = 4.9 \text{ ‰})^1 \\ \text{moyenne[90-94]} = 0.850 \text{ médiane[80-84]} & (r^2=0.99 ; \text{écart-type résiduel} = 4.4 \text{ ‰}) \end{array}$$

Ainsi, la baisse des teneurs moyennes ou médianes est d'autant plus importante que les teneurs initiales étaient fortes : pour des moyennes initiales autour de 30 ‰, la baisse observée est d'environ 5‰, pour des moyennes initiales autour de 70 ‰, cette chute est de l'ordre de 15 ‰ (Figure 10.C).

¹ Notons que la prise en compte de l'ensemble des communes (effectif > 5) modifie peu la relation qui devient : médiane[90-94]=0.860 médiane[80-84].

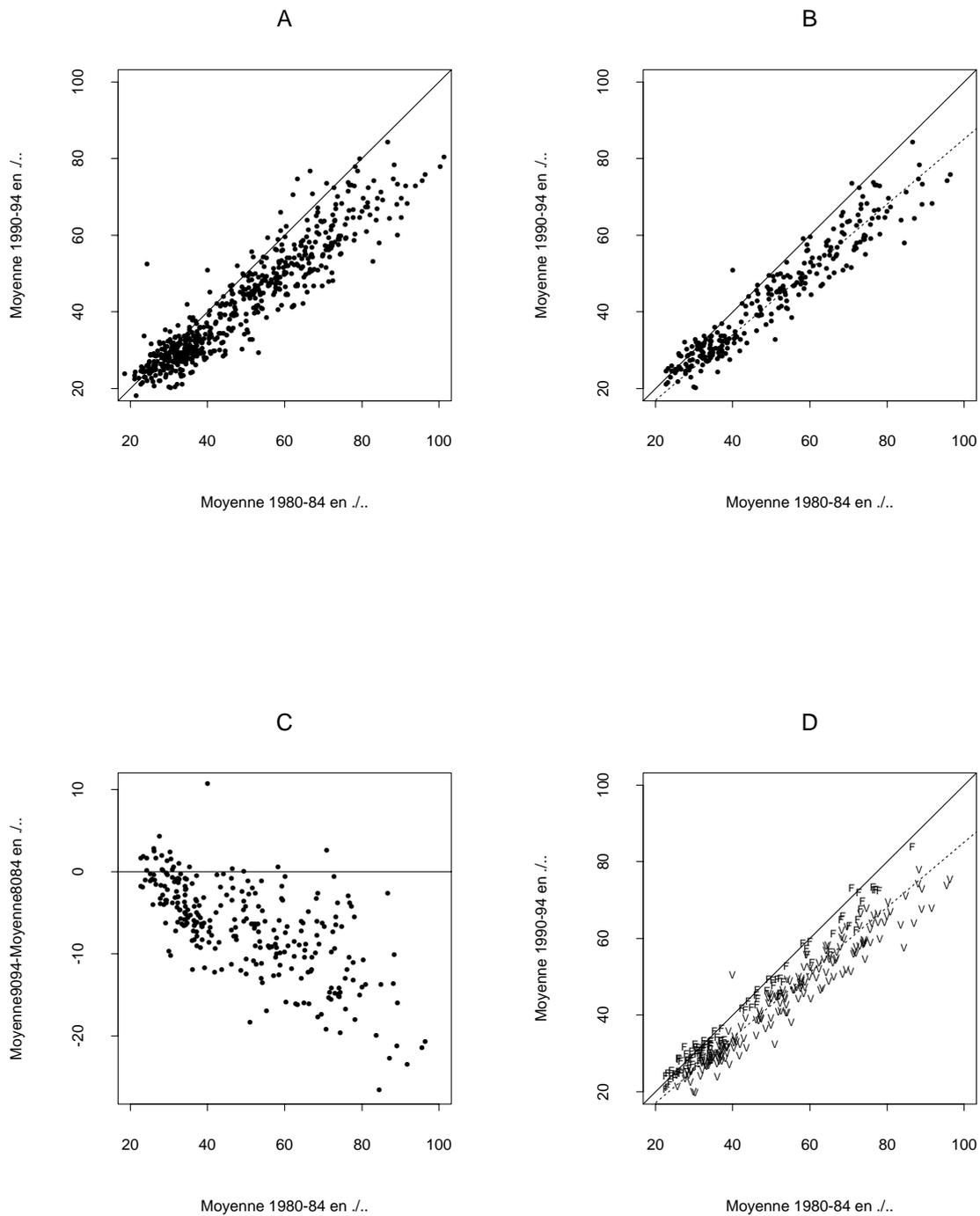


Figure 10 : Comparaison des teneurs moyennes du taux de matière organique en 1980-84 et 1990-94.
 A : Comparaison des moyennes pour 593 communes hors Côtes d'Armor, avec représentation de la droite $y=x$.
 B : Comparaison des moyennes pour 298 communes avec un effectif aux deux dates supérieur à 20. (représentation des droites $y=x$ et $y=0.85x$)
 C : Différence entre les moyennes de 1990-94 et celles de 1980-84 en fonction des moyennes initiales de 1980-84, pour 298 communes.
 D : Idem B avec indication d'une différence significative (V) ou non (F) des médianes entre les dates par application d'un test de Mann-Witney-Wilcoxon au seuil de 0.05 (Droites $y=x$ et $y=0.85x$).

b) Statistiques sur les différences observées.

Pour vérifier que ces baisses observées sont significatives sur le plan statistique, un test non paramétrique de Mann-Witney-Wilcoxon a été appliqué.

Si on considère les 593 communes déjà citées, la différence est jugée significative au seuil de 0.05 pour 329 communes. Pour les 298 communes avec un effectif supérieur à 20 aux deux dates, les résultats du test sont visualisés sur la figure 10.D et résumés dans le tableau 2.

Médiane 1980-84	Non significatif	Significatif
< 40 ‰	56	54
40 - 60 ‰	22	59
> 60 ‰	17	65
Total	95	178

Tableau 2 : Nombre de communes pour lesquelles la différence des médianes est jugée significative par un test de Mann-Witney-Wilcoxon au seuil de 0.05, en fonction de la médiane estimée en 1980-84. Les communes considérées sont celles avec un effectif supérieur à 20 aux deux dates.

Pour ces 298 communes, 178 différences sont jugées significatives. La proportion de différences significatives est d'autant plus grande que les médianes initiales étaient élevées, ce qui est en conformité avec l'idée précédente d'une baisse croissante en fonction des médianes observées en 1980-84.

3. Visualisation cartographique de l'évolution

L'approche statistique est complétée par la visualisation cartographique de l'évolution. Les cartes des médianes aux deux périodes (Figures 7 et 11) montrent une évolution nette de baisse des teneurs. Cette évolution est surtout marquée pour les zones du Morbihan et du Finistère à teneurs initiales élevées, avec une érosion importante des zones à teneur médiane supérieure à 70 ‰. Elle est également très claire tout au long du littoral nord avec une extension des zones à teneur inférieure à 30 ‰.

La représentation cartographique des communes pour lesquelles les différences sont significatives (Figure 12) indique qu'excepté pour l'Ille-et-Vilaine, la baisse semble un phénomène assez général pour les départements du Morbihan et le Finistère. Les cas où aucune baisse significative n'est remarquée, peuvent être en majorité reliés à un manque d'échantillonnage.

4. Discussion

Nous avons souligné à plusieurs reprises les risques de biais liés à la non-maîtrise de l'échantillonnage initial. Il convient de rappeler ce risque avant de discuter de la baisse très claire des teneurs en matière organique mise en évidence précédemment.

Il n'est pas du ressort de ce rapport d'expliquer cette baisse, nous nous contenterons d'évoquer des raisons éventuelles classées en deux rubriques.

a) des raisons liées à des biais éventuels dans l'étude

L'hypothèse de base, sous-jacente à la comparaison temporelle, est que la population échantillonnée est la même aux deux dates. Il s'agit en l'occurrence de la population des parcelles cultivées d'une commune.

Or, cette hypothèse a priori raisonnable, peut être mise en défaut. En particulier, la demande en analyse de terre des agriculteurs semble avoir évolué d'une demande faite pour des terres à problème, souvent très acide et à minéralisation lente, vers une demande plus systématique destinée à raisonner la fertilisation sur des terres sans problèmes particuliers. La baisse observée ne serait ainsi qu'une simple modification de la population étudiée depuis « les parcelles à problème » vers des « parcelles normales ». Une telle hypothèse ne saurait être vérifiée que si l'on disposait d'indicateurs de la qualité de la matière organique des échantillons aux deux dates.

Cette raison est plausible en raison d'une élévation générale du niveau de technicité des agriculteurs. Deux arguments la mettent néanmoins en cause :

- le pH moyen des parcelles de la période 1990-94 n'est pas supérieur à celui de la période 1980-84 ;
- la relation linéaire très étroite reliant les paramètres statistiques des distributions aux deux dates, est difficile à expliquer si la population étudiée n'est pas la même.

b) des raisons liées à une baisse effective des teneurs.

Au cours de la dernière décennie, l'agriculture bretonne a connu des évolutions très importantes des pratiques agricoles. Certaines de ces modifications peuvent entraîner une réduction des restitutions humiques et expliquer les baisses de teneur en matière organique des sols. Il s'agit principalement de la :

- baisse de la superficie des prairies temporaires (de 634 000 à 439 000 ha) et des fourrages annuels, au profit principalement des cultures céréalières (de 400 000 à 531 000 ha), du maïs fourrager (de 297 000 à 335 000 ha) et de la surface non agricole (DRAF, 1984, 1994).
- réduction du cheptel bovin, en particulier laitier (de 1 300 000 à 866 000 têtes) et augmentation très importante des autres cheptels, porcins, volailles ... souvent conduits sur lisier, pauvre en carbone et riche en azote, avec de faibles restitutions humiques. (DRAF, 1983, 1993).

Une étude est en cours pour voir si ces deux raisons sont suffisantes pour expliquer la baisse observée : elle est fondée sur le calcul de bilans humiques et l'application du modèle de Hénin-Dupuis (1945), de prévision du statut organique des sols en fonction des pratiques d'entretien organique (Boiffin et al., 1990).

Enfin, on peut rajouter à ces deux facteurs deux autres raisons possibles de baisse : (i) un approfondissement éventuel des profondeurs de labour conduisant à une dilution de la matière organique ; (ii) une évolution des techniques d'élevage vers des systèmes sans utilisation de paille.

III. CONCLUSION

A l'échelle de la Bretagne, les teneurs en matière organique des sols varient dans des proportions très importantes, mais la cartographie communale entreprise lors de cette étude permet de comprendre les principales tendances de cette variabilité : un gradient croissant du nord-est au sud-ouest, une variabilité intra-communale plus forte dans les secteurs à teneurs médianes élevées.

L'étude de l'évolution des teneurs, à partir de deux jeux de données concernant les périodes 1980-84 et 1990-94, montre une baisse très nette et généralisée. Cette baisse est proportionnelle aux teneurs initiales et donc plus élevée dans le Morbihan et le Finistère. Elle peut s'expliquer soit par un biais statistique, lié à une modification de la demande d'analyses de terre, soit par une diminution effective de ces teneurs en liaison avec une modification des pratiques agricoles.

Cette tendance très claire doit à présent être confrontée à des calculs théoriques pour voir si les modifications des pratiques agricoles de la dernière décennie peuvent être à son origine. Il faut également faire une synthèse des essais pluriannuels conduits en Bretagne pour tenter une validation expérimentale.

Cette étude montre également que le **dispositif actuel de suivi de l'évolution des sols est insuffisant**. Un effort important a été accompli au niveau régional pour affiner le contrôle de la qualité de l'eau. Il n'en est rien pour les sols malgré les risques de dégradation auxquels ils sont soumis et dont Cheverry (1994) a fait l'évaluation pour la Bretagne. Les raisons sont liées à des difficultés méthodologiques, mais surtout vraisemblablement à un manque de conscience.

La démarche adoptée dans cette étude, de valorisation des analyses de terre faites par ailleurs, est intéressante : elle permet, par voie d'enquête et à moindres frais, d'avoir une vision exhaustive de l'ensemble de la région et de dégager des tendances. Mais, elle est insuffisante notamment en raison des dangers de biais qui la sous-tendent. Il faut donc la compléter par d'autres approches :

- **des campagnes de prélèvements spécifiques d'une « surveillance des sols »**, respectant les principes de la théorie d'échantillonnage. Leur objectif serait d'une part de valider les tendances observées dans les enquêtes, mais également d'étudier des paramètres importants (métaux, qualité de la matière organique, ...) non renseignés dans les analyses de terre courantes et pour lesquels la démarche entreprise dans ce rapport est inopérante.

- **des dispositifs expérimentaux pluriannuels plus nombreux;**

Ces dispositifs sont rares en Bretagne et souvent installés dans des situations atypiques. Ils sont pourtant indispensables pour identifier les facteurs d'évolution des sols et tenter des adaptations des pratiques culturales.

En résumé, dans une région d'agriculture intensive comme la Bretagne, il semble indispensable de mieux suivre l'évolution de la qualité des sols.

IV. BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR (1987) - *Qualité des sols. Méthodes d'analyses*. Recueil de normes françaises, 135 p.
- Arrouays (1994) - *Evolution des stocks de carbone des sols après déforestation : analyse spatio-temporelle à l'échelle d'un paysage pédologique*. Etude et Gestion des Sols, Vol1. (2) ,29 - 38.
- Boiffin J. et Monnier G. (1989) - *Evolution de certaines composantes de la fertilité de l'influence des systèmes de culture*. in « fertilité et systèmes de production » sous la direction de M. Sébillotte, INRA Editions, 207-258.
- Calvet R. , Terce M. et Arvieu J.C. (1980) - *Adsorption des pesticides par les sols et leurs constituants*. Ann. Agron., 31 : 239-257.
- Calvet R. et Walter C. (1993) - *Variabilité spatiale des fonctions de transfert du sol et modélisation du devenir des pesticides dans les sols*. Rapport final de contrat DGER, convention 90132, INAPG ENSA-INRA Rennes, 61 p.
- Cheverry C. (1994) - *La dégradation chimique des sols en Bretagne*. Etude et Gestion des Sols. Vol. 1 (1), 1-21.
- DRAF (1984) - *Statistique Annuelle - Bretagne 1983*. Service statistique,65 p.
- DRAF (1994) - *Les tableaux trajectoire de Bretagne. Annuaire 1994*. Agreste. La statistique agricole.
- ESRI (1994) - *Understanding GIS. The Arc/Info method. Version 7*. Redlands, California, 500 p.
- Hénin S. et Dupuis M. (1945) - *Essai de bilan de la matière organique du sol*. Ann. Agron., 16-27.
- Keli Zagbahi J. (1984) - *Système de culture, système de production et statut organique des sols : essai de diagnostic sur les pratiques d'entretien organique dans une petite région agricole*. Thèse de Docteur-Ingénieur de l'INA PG, 208 p.
- Lafrance P. et Banton O. (1995) - *Implication of spatial variability of organic carbon on predicting pesticide mobility in soil*. Geoderma, 65, 331-338.
- Leleux A., Arousseau P. et Roudaut A. (1986) - *Traitements statistiques et cartographiques des résultats analytiques disponibles sur support informatique dans les différents laboratoires de la région*. Rapport de contrat : Plan de Relance Agronomique, région Bretagne., Action 1 : Valorisation des analyses de terre, 37 p.
- Leleux A., Arousseau P. et Roudaut A. (1988) - *Synthèse cartographique régionale à partir de données d'analyses de terre*. Science du Sol, vol.26 (1) - 29-40.
- Simon F. (1995) - *Analyse des facteurs de risque de transfert des pesticides dans les paysages*. Mémoire de DAA Génie de l'Environnement, option Sol et Aménagement Rural, ENSA Rennes, 44 p. + annexes.
- Sprent (1992) - *Pratique des statistiques nonparamétriques*. Traduction JP. Ley. INRA Editions, Techniques et Pratiques, 294 p.
- Statistical Sciences INC. (1991) - *Splus Reference Manual.*, Seattle, Washington.
- Wagenet R.J. et Rao P.S.C. (1990) - *Modeling pesticide fate in soils*. in « Pesticides in the soil environment. » SSSA Book Series N° 2, 351-399.

V. ANNEXES

A. Présentation des fichiers communaux

Les résultats par commune sont présentés dans deux fichiers au format Excel 5.0 :

mo85.xls : pour les analyses portant sur la période 1980 à 1984

mo95.xls : pour les analyses portant sur la période 1990 à 1994.

Ces deux fichiers ont une structure identique : il s'agit d'un tableau contenant en ligne l'ensemble des communes de Bretagne et en colonne des identificateurs de la commune et des paramètres statistiques caractérisant la distribution des teneurs en matière organique au sein de la commune.

NOM de la COMMUNE	Numero INSEE	Nombre d'analyses	Moyenne en ‰	Ecart-type en ‰	1er décile en ‰	Quartile inf. en ‰	Médiane en ‰	Quartile sup. en ‰	9è décile en ‰	Base de calcul *	Evolution 85/95 *	Département	Superficie calculée en ha	Ident. dans Arcinfo
ALLINEUC	22001	31	37	60	30	31	38	41	45	1	1	22	2525	568

Extrait de la base de données communale

Les identificateurs de la commune :

le nom en clair

le numéro INSEE

le département

La superficie totale de la commune calculée par le système d'information géographique

Un numéro identificateur de la commune permettant le lien avec le système d'information géographique.

Les paramètres statistiques (exprimés en pour mille)

Le nombre d'analyses

La moyenne ; l'écart-type

Le 1er décile, le quartile inférieur, la médiane, le quartile supérieur et le 9è décile.

La base de calcul : code 1 ou code 2

1. paramètres estimés à partir d'analyses du carbone organique * 1.72

2. paramètres estimés à partir d'analyses de l'azote total * 16

Evolution entre 1980-84 et 1990-94 : codes 0, 1 ou 2 suivant le résultat d'un test de Mann-Witney-Wilcoxon au seuil de 0.05

0 : différences entre médianes non significatives

1 : baisse significative des teneurs médianes.

2 : hausse significative des teneurs médianes.

B. Description du format d'échange adopté.¹

¹ Ce format est celui retenu dans le cadre de la synthèse nationale des analyses de terre demandée par le Ministère de l'Agriculture, et appliqué également dans la présente étude (Schvartz et Walter, à paraître).

SOMMAIRE

I. METHODOLOGIE DE L'ETUDE	4
A. ORIGINE DES ECHANTILLONS	4
B. METHODES	5
C. LES TRAITEMENTS STATISTIQUES SUR LA BASE COMMUNALE.	7
D. COMPARAISON DES MEDIANES COMMUNALES ENTRE 1980-85 ET 1990-95	9
II. RESULTATS	11
A. CARTE COMMUNALE DU TAUX DE MATIERE ORGANIQUE A PARTIR DES DONNEES 1990-94	11
1. VARIABILITE GLOBALE DES TENEURS EN MATIERE ORGANIQUE	11
2. LES DISTRIBUTIONS DE TENEUR AU SEIN DES COMMUNES.	11
3. ANALYSE CARTOGRAPHIQUE	13
B. EVOLUTION TEMPORELLE DES TENEURS ENTRE 1980-84 ET 1990-94.	18
1. COMPARAISON DE L'ECHANTILLONNAGE SUR LES DEUX PERIODES.	18
2. COMPARAISON DES TENEURS MOYENNES OU MEDIANES	18
3. VISUALISATION CARTOGRAPHIQUE DE L'EVOLUTION	23
4. DISCUSSION	23
CONCLUSION	26
BIBLIOGRAPHIE	27
ANNEXES	29
A. PRESENTATION DES FICHIERS COMMUNAUX	29
B. DESCRIPTION DU FORMAT D'ECHANGE ADOPTE.	30