



**HAL**  
open science

## **SYNTHESE NATIONALE DES ANALYSES DE TERRE : PERIODE 1990-1994**

Christian Walter, C. Schwartz, B Claudot, P. Auroousseau, T. Bouedo

► **To cite this version:**

Christian Walter, C. Schwartz, B Claudot, P. Auroousseau, T. Bouedo. SYNTHESE NATIONALE DES ANALYSES DE TERRE : PERIODE 1990-1994. [Rapport de recherche] Association Française pour l'Etude des Sols. 1998, 68 p. + 25 cartes. hal-02088230

**HAL Id: hal-02088230**

**<https://hal.science/hal-02088230>**

Submitted on 2 Apr 2019

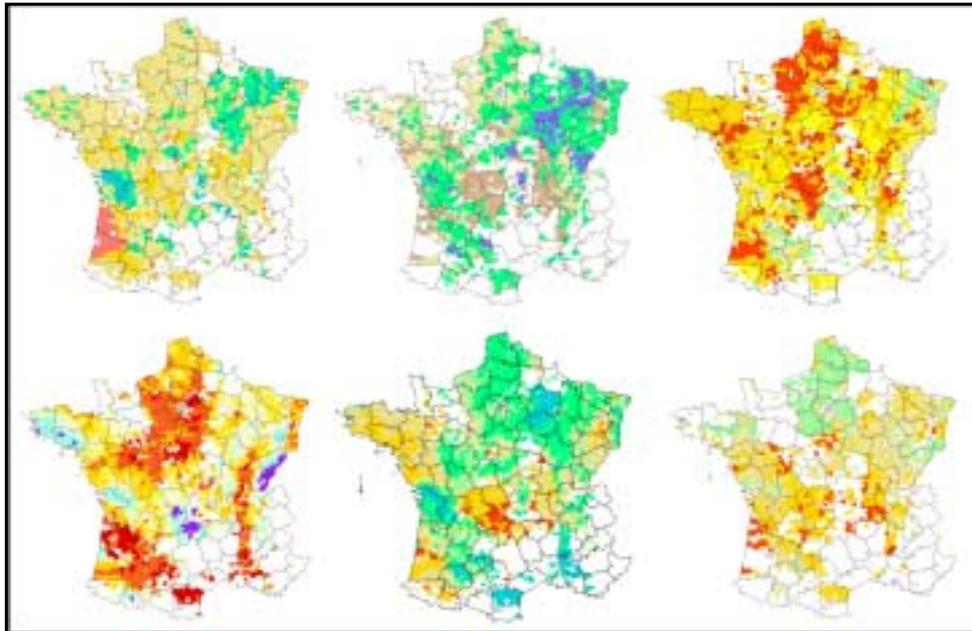
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.



ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DES SOLS

# SYNTHESE NATIONALE DES ANALYSES DE TERRE : PERIODE 1990-1994



par C. Walter, C. Schwartz,  
B. Claudot, P. Arousseau et T. Bouedo

2<sup>ème</sup> édition – avril 1998  
Version augmentée





ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DES SOLS

# **SYNTHESE NATIONALE DES ANALYSES DE TERRE : PERIODE 1990-1994**

par C. Walter\*\*, C. Schvartz\*,  
B. Claudot\*, P. Aurousseau\*\*\* et T. Bouedo\*\*\*

\* Laboratoire Sol et Environnement, ISA Lille

\*\* Laboratoire de Science du Sol, ENSA-INRA Rennes

\*\*\* Laboratoire de Spatialisation Numérique, ENSA Rennes

*Etude réalisée avec le concours financier du  
Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.  
Direction de l'Espace Rural et de la Forêt*

2<sup>ème</sup> édition – avril 1998  
Version augmentée



## REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier de la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, et a été réalisée sous l'égide de l'AFES. Les auteurs tiennent à remercier les différents laboratoires d'analyse de terre du GEMAS qui ont contribué à cette étude en fournissant gracieusement leurs résultats analytiques. Nos remerciements s'adressent également aux personnes du Ministère ou de l'AFES qui nous ont soutenus dans cette entreprise : Mmes M. Eimberck, G. Urbano ; MM. M. Jamagne, M.C. Girard, J.C. Rémy, J.Y. Sommier.

Les données de cette étude sont également disponibles sur le site internet de l'AFES à l'adresse provisoire suivante : <http://viviane.roazhon.inra.fr/snas>

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b>	<b>1</b>
INTRODUCTION	3
<b>Chapitre 1 - RÉCOLTE DE L'INFORMATION</b>	<b>5</b>
1. Contacts avec les laboratoires.	7
1.1. <i>Choix des laboratoires.</i>	
1.2. <i>Typologie des réponses.</i>	
2. Données reçues.	7
2.1. <i>Organisation.</i>	
2.2. <i>Aspects déontologiques.</i>	
<b>Chapitre 2 - TRAITEMENT DE L'INFORMATION</b>	<b>9</b>
1. Analyse des données brutes.	11
2. Mise en forme.	13
3. Effectifs.	13
4. Traitements.	15
4.1. <i>Objectifs.</i>	
4.2. <i>Analyse critique des données.</i>	
4.3. <i>Représentativité.</i>	
4.4. <i>Choix du type de représentation.</i>	
5. Caractéristiques de la base de données obtenue	19
Conclusion	20
<b>Chapitre 3 - RÉSULTATS CONCERNANT LES DONNÉES PHYSIQUES</b>	<b>23</b>
Introduction	25
1. Les fractions granulométriques	27
1.1. <i>La teneur en argile</i>	27
1.2. <i>La teneur en limons.</i>	29
1.3. <i>La teneur en sables totaux.</i>	29
1.4. <i>Les classes de texture.</i>	29
1.5. <i>Conclusion sur la granulométrie</i>	31
1.6. <i>L'indice de battance.</i>	33
2. La teneur en matière organique	35
3. Le pH	37
4. Le calcaire total.	39
5. La capacité d'échange cationique	41

Conclusion :	41
<b>Chapitre 4 - RÉSULTATS CONCERNANT LES DONNÉES CHIMIQUES</b>	<b>43</b>
Introduction	45
1. Le phosphore extractible	45
1.1. <i>Le phosphore extractible Joret-Hébert</i>	47
1.2. <i>Le phosphore extractible Dyer</i>	47
1.3. <i>Interprétation agronomique</i>	49
2. Le potassium échangeable	49
3. Le magnésium échangeable	51
4. Les oligo-éléments	53
4.1. <i>Le cuivre EDTA</i>	53
4.2. <i>Le manganèse EDTA</i>	53
4.3 <i>Le zinc EDTA</i>	53
4.4 <i>Le bore soluble</i>	57
CONCLUSION	59
Bibliographie associée au travail	61
LISTE DES TABLEAUX	65
LISTE DES FIGURES	66
LISTE DES CARTES	67
ANNEXES	69

## INTRODUCTION

Les sols français restent mal connus : la moitié du territoire national ne dispose d'aucune cartographie des sols, et les synthèses départementales ou régionales de la diversité pédologique restent peu nombreuses.

De plus, les sols cultivés évoluent du fait des apports importants d'amendements et d'engrais ou des modifications des pratiques agricoles. Les propriétés concernées par cette évolution sont nombreuses : pH, cations échangeables, phosphore, matière organique, densité apparente... Pourtant, les moyens actuellement mis en œuvre pour mesurer cette évolution, tels que les observatoires de la qualité des sols, ne sont pas en nombre suffisant pour percevoir finement de telles variations (Bornand, 1997).

Dans ce contexte, nous nous proposons d'analyser l'information sur les sols cultivés qu'apportent les résultats des analyses utilisées par les agriculteurs pour caractériser leurs sols et gérer la fertilisation. Ces analyses sont effectuées par des laboratoires soumis à un processus d'agrément par le Ministère de l'Agriculture. L'objectif de cette étude est d'obtenir une représentation de l'état de fertilité des sols cultivés du territoire français, à partir de cette information.

Dans ce but, il est nécessaire de créer une banque de données contenant les informations fournies par les laboratoires d'analyses. Pour disposer d'un nombre d'analyses suffisant tout en minimisant le risque d'avoir deux analyses de la même parcelle, nous avons retenu une période d'étude de cinq ans, de 1990 à 1994.

Nous effectuons ensuite divers traitements, tout en respectant des aspects déontologiques liés notamment à l'anonymat des informations, afin de parvenir à des synthèses présentées sous forme de tableaux et de documents cartographiques.

Cependant, nous gardons à l'esprit que les résultats obtenus risquent d'être entachés de biais, liés notamment aux motivations pour lesquelles les agriculteurs ont eu recours à ces analyses.

Après avoir indiqué les conditions dans lesquelles nous avons recueilli puis organisé ces informations, nous allons présenter les résultats en dissociant de façon classique les propriétés dites "physiques" des sols (granulométrie, pH, capacité d'échange cationique...) des propriétés "chimiques" (phosphore, potassium, magnésium,...).

**Chapitre 1 -  
RÉCOLTE DE L'INFORMATION**

## **1. CONTACTS AVEC LES LABORATOIRES.**

### **1.1. Choix des laboratoires.**

Le principe est de contacter les laboratoires agréés par le Ministère de l'Agriculture, demandeur de l'étude. Ces laboratoires présentent l'avantage d'utiliser les mêmes méthodes analytiques et d'offrir des garanties de qualité des résultats. Nous sommes donc assurés de rassembler des résultats dans des conditions de rigueur acceptables.

A partir de la liste des laboratoires agréés fournie par la DERF, 48 laboratoires ont été contactés. Parmi eux, 27 ont répondu favorablement à la demande de transfert à titre gracieux de résultats d'analyses concernant la période 1990-1994. La liste des laboratoires contactés et le courrier envoyé se trouvent en annexes 1 et 2 ; leur localisation est présentée sur la carte 1.

### **1.2. Typologie des réponses.**

Les réponses des laboratoires s'organisent en deux catégories :

#### ♦ Les refus.

On peut distinguer trois causes de refus :

- un refus pour des raisons commerciales, les informations étant considérées comme confidentielles ;
- la formulation d'exigences ne pouvant être satisfaites ;
- une impossibilité matérielle dans le cas des laboratoires non informatisés.

Notons ici que les laboratoires concernés par les deux premières sources de refus correspondent à d'importants volumes d'activité, tandis que les laboratoires non informatisés représentent des volumes plus limités.

#### ♦ Les accords.

Dans ce cas encore, on peut dissocier deux situations :

- l'accord simple, sans condition ;
- l'accord conditionnel, à savoir une exigence du respect de l'anonymat (du demandeur de l'analyse comme du laboratoire).

Les laboratoires qui ont fourni des résultats pour cette étude sont localisés sur la carte 2.

## **2. DONNEES REÇUES.**

### **2.1. Organisation.**

A chaque réception de nouvelles informations provenant d'un laboratoire, nous avons dû effectuer une homogénéisation des formats de fichiers et des unités des déterminations, puis une fois les traitements de mise en forme terminés, à une incorporation au fichier global.

Il serait désormais intéressant de rester en liaison avec les laboratoires, voire même de reprendre contact avec ceux d'entre eux qui ont jusqu'ici refusé ou étaient dans l'impossibilité de participer au projet. De cette façon, il serait envisageable de pérenniser la banque de

données et poursuivre le processus de l'étude, notamment afin d'aborder les aspects dynamiques. Dans cet objectif, il serait au préalable nécessaire de déterminer un format d'échange de données standard, afin d'éviter les difficultés rencontrées lors de la transcription des informations.

## **2.2. Aspects déontologiques.**

Ici se pose la question du respect de l'anonymat et des intérêts des personnes ou organismes à l'origine de la demande d'analyse de terre ou ayant permis d'en obtenir les résultats. La confidentialité doit être préservée, tant pour l'agriculteur que pour l'organisme ayant transmis les résultats.

- ♦ par rapport à l'agriculteur.

Son anonymat est garanti puisque :

- la banque de données ne contient ni son nom ni son adresse, mais seulement le code INSEE correspondant à la commune d'origine de l'échantillon ;
- aucune utilisation n'est faite d'une analyse isolée ; le traitement statistique porte sur des lots significatifs d'analyses ; le cas où une commune ne comptabilise que peu d'analyses, qui pourrait permettre l'identification du demandeur, est exclu du traitement puisque non significatif ;
- nous ne travaillons pas à partir des coordonnées géographiques de la parcelle, celle-ci n'est par conséquent pas identifiable.

- ♦ par rapport aux organismes.

Qu'il s'agisse d'un laboratoire ou d'une autre structure (coopérative ou négociant par exemple), les organismes sont en droit d'exiger un niveau de confidentialité élevé, afin de préserver leurs intérêts. Il s'agit d'une confidentialité en termes de volume d'activité et de zone d'influence, ainsi qu'en termes de résultats.

Cette confidentialité est assurée par la fusion des données provenant des différents laboratoires et par le choix d'un mode de découpage grossier de l'espace, à savoir le découpage cantonal.

Il faut garder à l'esprit que la banque de données ne doit servir qu'à des études synthétiques des résultats, à des fins de connaissance générale des sols cultivés français, à l'exclusion de toute utilisation commerciale. En effet, c'est dans ce cadre que les partenaires contactés se sont engagés à participer au projet.

En ce qui concerne le statut de la banque de données, trois étapes sont à prendre en compte :

- la banque initiale, contenant les données brutes ;
- la banque élaborée ;
- la banque dégradée, contenant les synthèses effectuées au niveau cantonal.

Il paraît désormais indispensable de constituer un groupe de travail réunissant par exemple des représentants du GEMAS, de l'AFES et du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Pêche, visant à résoudre de façon satisfaisante et durable les questions déontologiques relatives à la constitution et à l'utilisation d'une telle banque de données.

**Chapitre 2 -  
TRAITEMENT DE L'INFORMATION**

## 1. ANALYSE DES DONNEES BRUTES.

Nous avons conservé, avant mise en forme finale, l'ensemble des analyses reçues pour la période de cinq ans allant du 1<sup>er</sup> janvier 1990 au 31 décembre 1994 (environ 300.000). Elles sont réparties de façon pratiquement homogène sur les cinq années sur lesquelles porte l'étude (tableau 1).

Certains laboratoires ont fourni des données réparties sur une période plus brève que la phase d'étude, ou franchement hors de l'intervalle considéré. On trouve ainsi trois laboratoires pour lesquels nous ne disposons d'aucune analyse entre 1990 et 1994. L'information provenant de ces laboratoires n'a donc pas été incorporée dans la banque de données finale.

Nombre d'analyses par an	Nombre de laboratoires concernés					Nombre total d'analyses conservées	Nombre de laboratoires concernés
	90	91	92	93	94		
aucune						aucune	3
0 - 1 000	12	9	9	6	6	0 - 5 000	8
1 000 - 5 000	2	6	5	6	5	5 000 - 10 000	7
5 000 - 10 000	10	8	8	11	11	10 000 - 15 000	3
> 10 000	2	2	3	3	4	15 000 - 20 000	2
	1	2	2	1	1	> 20 000	4

Tableau 1 : Répartition des laboratoires selon le nombre d'analyses envoyées au cours des années d'étude et le nombre total d'analyses conservées.

On observe en outre que la majorité des laboratoires ont fourni moins de 5.000 analyses par an, et sur la période de cinq ans envisagée moins de 10.000 analyses. Deux laboratoires dépassent les 10.000 analyses par an, et seuls quatre laboratoires atteignent 20.000 analyses sur cinq ans.

Les déterminations archivées sont :

- la granulométrie ;
- le pH (eau et KCl) ;
- le calcaire (total et actif) ;
- l'azote total ;
- le carbone organique ;
- le phosphore extractible, le potassium et le magnésium échangeables ;
- le calcium et le sodium ;
- la capacité d'échange cationique ;
- les oligo-éléments.

Ces déterminations ne sont cependant pas systématiquement renseignées.

Les méthodes analytiques des laboratoires agréés devant répondre aux normes AFNOR ou ISO (AFNOR, 1996), il est rare d'en rencontrer d'autres que celles citées dans le tableau 2 ci-dessous. Dans ces rares cas, les résultats n'ont pas été retenus, afin de garder un ensemble homogène.

<i>Détermination</i>	<i>Méthode d'analyse</i>
Fractions granulométriques	Sédimentation après destruction des agrégats, mais décarbonatation préalable (norme X 31-107)
pH eau	Mesure électrométrique d'une solution échantillon/eau selon un rapport massique 1/5 (norme ISO 10390)
Calcaire total	Dosage volumétrique du dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ) dégagé sous l'action d'un acide fort à température ambiante (norme NF ISO 10693).
Matière organique	Estimation de la teneur en matière organique à partir de l'analyse du carbone organique (x 1,72) déterminée par oxydation sulfochromique (norme X31-109).
Capacité d'Echange Cationique	Détermination de la capacité d'échange cationique par échange avec l'acétate d'ammonium à pH 7 (méthode Metson, norme NF X 31-130). Remarque : en Limousin, la méthode utilisée est la méthode Riehm.
Phosphore extractible Dyer	Détermination du phosphore soluble par l'acide citrique à 20 g/l (norme NF X31-160)
Phosphore assim. Joret-Hébert	Détermination du phosphore soluble par l'oxalate d'ammonium à 0,1 mol/l (norme NF X31-161).
Cations échangeables (Ca, Mg, K, Na)	Détermination par spectrométrie après échange avec l'acétate d'ammonium (norme NF X31-108).
Bore soluble	Extraction des formes solubles par ébullition dans une solution de chlorure de calcium 0,01 M (norme X31C).
Cuivre EDTA, Mn EDTA, Zn EDTA	Extraction des formes solubles en présence d'EDTA dans une solution à pH 7 (norme NF X 31-121).

*Tableau 2 : Méthodes d'analyses utilisées en référence aux normes françaises (AFNOR, 1996)*

Selon les analyses et les laboratoires (tableau 3), nous disposons pour situer le prélèvement :

- des coordonnées Lambert (très rare) ;
- du nom de la parcelle échantillonnée (inutilisable) ;
- de la commune de prélèvement et de son code postal ;
- des codes INSEE correspondants. De toutes ces informations, seuls les codes postaux, noms de communes (convertis en codes INSEE) et codes INSEE ont été utilisés pour localiser les analyses (§ 2).

<i>Laboratoire</i>	<i>Identificateur géographique</i>	<i>Laboratoire</i>	<i>Identificateur géographique</i>
1	Commune + Code postal	20	Commune + Code postal
2		21	Commune + Code postal
3	Code INSEE	22	Commune + Code postal
4	Commune + Code postal	23	Commune + Code postal
5	Code INSEE	24	Commune + Code postal
6	Code INSEE	25	Code INSEE
7	Code INSEE	26	Commune + Code postal
8	Code INSEE	27	Commune + Code postal
9	Code INSEE	28	Code INSEE
10		29	Commune + Code postal
11	Commune + Code postal	30	Commune + Code postal
12	Code INSEE	31	Commune + Code postal
13	Commune + Code postal		
14	Commune + Code postal		

Tableau 3 : Identification géographique des analyses adoptée par les laboratoires.

## 2. MISE EN FORME.

Il a tout d'abord fallu homogénéiser tous les résultats en ce qui concerne les unités de mesure utilisées.

Ensuite, dans le cadre de la confidentialité, nous avons converti tous les renseignements concernant la localisation de la parcelle en codes INSEE correspondant aux communes, cantons et petites régions agricoles et effacé toutes les autres informations.

Enfin, afin d'obtenir une population homogène, nous avons éliminé de la banque de données :

- les analyses ne concernant pas des horizons de surface, après confirmation par les responsables de laboratoires ;
- les analyses sous jardins (non considérés comme sols agricoles), lorsque l'indication en était donnée ;
- les communes urbaines, définies à partir des densités de population par rapport à la surface totale (en l'absence de la SAU) des communes (carte 3) ;
- les analyses de certaines communes si celles-ci présentaient un rapport nombre d'analyses/surface totale élevé ; il s'agit souvent de communes où siègent des coopératives susceptibles de faire des analyses pour leurs adhérents.

Notons qu'un regroupement par canton permet ici de minimiser le biais lié à une imprécision éventuelle concernant la localisation.

## 3. EFFECTIFS.

Ils varient grandement selon le type de détermination (tableau 4 et figure 1). Les plus courantes sont la granulométrie, le pH, le calcaire total, le carbone organique, la capacité d'échange, le phosphore, le potassium et le magnésium.

Déterminations	Effectif	Déterminations	Effectif
Argile	122 268	P2O5 Dyer	144 416
Limons fins	91 810	P2O5 Olsen	5 755
Limons grossiers	92 083	K2O	288 749
Sables fins	81 285	MgO	286 241
Sables grossiers	78 529	CaO	233 390
Refus 2 mm	28 537	Na2O	100 569
pH eau	291 971	CEC	147 867
pH KCl	75 504	Bore	71 856
Calcaire total	182 766	Cuivre	106 706
Calcaire actif	69 503	Zinc	79 569
Azote total	56 780	Manganèse	90 154
Carbone organique	274 014		
P2O5 Joret-Hébert	137 010	<b>Total</b>	<b>3 134 332</b>

Tableau 4 : Nombre de résultats disponibles par détermination.

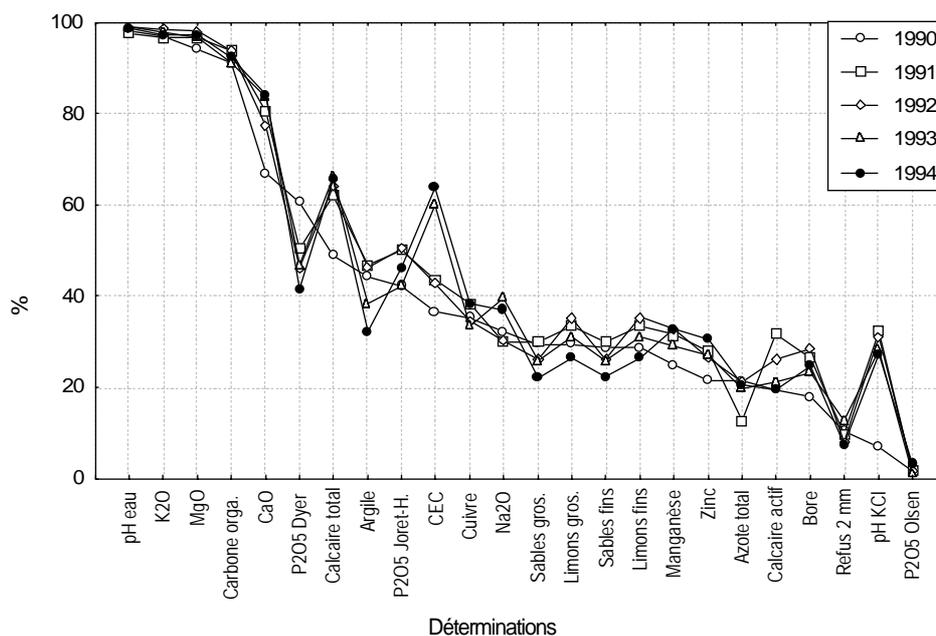


Figure 1 : Résultats disponibles par détermination et par an (exprimés en pourcentage du nombre d'analyses annuel).

Les fluctuations inter annuelles du nombre de résultats disponibles pour chaque détermination doivent être considérées avec prudence. En effet, dans le cas de la constitution de cette première banque de données, la relative croissance du nombre de données disponibles d'une année sur l'autre (de 54 118 en 1990 à 65 577 en 1994) peut être liée à la plus grande accessibilité des analyses les plus récentes. Le trait marquant semble correspondre à la stagnation (voire à la diminution) des déterminations granulométriques accompagnée de l'accroissement du nombre de CEC réalisées. Ce fait est cohérent avec le recours de plus en

plus fréquent à ce paramètre pour interpréter les résultats d'analyses chimiques et établir un conseil de fertilisation.

Le nombre moyen de déterminations par analyse est très stable au fil des années et égal à 10.

#### 4. TRAITEMENTS.

##### 4.1. Objectifs.

L'objectif est d'utiliser les données d'analyses de terres pour représenter la variabilité spatiale de propriétés physiques et chimiques concernant les terres agricoles.

Il semble dans un premier temps intéressant de réaliser un traitement statistique, pour disposer d'une valeur représentative de l'entité géographique considérée (moyenne ou médiane), et aussi d'un indice de dispersion de ces données (écart-type, quartiles et déciles).

Ensuite, pour certaines propriétés (notamment chimiques), on peut tenter une première interprétation agronomique. Cet aspect ne faisant pas partie des objectifs initiaux, il ne sera traité que brièvement dans le cadre de cette étude.

##### 4.2. Analyse critique des données.

###### *a) L'échantillonnage et la précision analytique.*

Sur une parcelle donnée, le préleveur effectue une dizaine de sondages sur la couche travaillée (20-25 cm de profondeur) ou sur la zone d'exploitation par les racines dans le cas des prairies (5-10 cm), puis homogénéise les prélèvements pour constituer l'échantillon destiné à être analysé. Il s'agit donc d'un échantillon composite qui est censé être proche de la valeur moyenne de la parcelle.

On reconnaît en général que la précision des analyses est satisfaisante compte tenu de l'objectif fixé (gestion de la fertilisation), malgré les incertitudes générées par la méthode de prélèvement, la manipulation, la méthode analytique, le mode d'expression des résultats...

###### *b) Pérennité des valeurs.*

Les conseils donnés habituellement par les laboratoires incitent à réaliser une nouvelle analyse sur une parcelle après un délai de 3 à 5 ans. Dans un fichier regroupant des résultats collectés sur une période supérieure à 5 ans, le risque d'en avoir deux provenant de la même parcelle n'est pas nul. De plus la seule localisation du prélèvement par la commune rend impossible une vérification rigoureuse de l'existence de tels doublons.

D'autre part, du fait de la pratique agricole, certaines valeurs évoluent. C'est d'ailleurs souvent la raison même de la demande d'analyse.

Si la validité des résultats granulométriques est pérenne, celle des autres variables dépend du comportement dans le sol des éléments correspondants. Etant donné les mécanismes agronomiques mis en jeu, leur cinétique et la précision d'une telle approche, nous estimons, à partir des conseils habituellement donnés pour la réalisation d'une nouvelle analyse sur la même parcelle, ce délai à :

- environ 10 ans pour la matière organique et la CEC,
- 3 ans pour les déterminations classiquement appelées "chimiques",
- 1 an pour le pH.

Le statut du calcaire total est intermédiaire. En effet, seules les valeurs très faibles (quelques pour mille) sont influencées par la pratique agricole (un apport de 5 tonnes de calcaire correspond à une variation de teneur inférieure à 2 ‰). Au delà de quelques pour-cent, les valeurs peuvent donc être considérées comme pérennes.

#### **4.3. Représentativité.**

##### *a) Risques de biais.*

Il en existe plusieurs :

- la stratégie d'échantillonnage n'est pas maîtrisée ;
- on ne dispose que trop rarement d'une indication sur l'exploitation de la parcelle ; il serait pourtant utile de connaître le type de cultures pratiquées (grandes cultures, prairies, maraîchage ... ), ainsi que les pratiques de fertilisation ;
- il nous faudra tout au long de l'étude garder à l'esprit qu'un biais peut être introduit de par les motivations de l'agriculteur envers l'analyse de terre ; en effet, il peut avoir tendance à demander des analyses essentiellement sur les terres où il rencontre un problème. Il existe donc un risque de sur-échantillonnage des sols à problèmes.

*Lors de la lecture des documents cartographiés, il est important de se fier aux grandes tendances et de s'aider des cartes des effectifs.*

##### *b) Seuil.*

Nous n'avons pas conservé pour la représentation graphique les unités géographiques correspondant à un résultat statistique portant sur moins de 10 analyses. En effet, les intervalles de confiance des descripteurs statistiques tels que moyenne ou médiane sont jugés satisfaisants à partir de 10 à 15 analyses.

#### **4.4. Choix du type de représentation.**

##### *a) Choix du découpage.*

Pour chaque échantillon, on connaît la commune de la parcelle échantillonnée. Le découpage de la France en 36 500 communes semble donc constituer au premier abord la base de stratification naturelle de cette étude statistique. Mais, différents arguments s'opposent à l'emploi de cette base :

- ♦ statistique : le nombre de communes pour lesquelles l'effectif est suffisant est faible. Si on dénombre les communes avec plus de 10 déterminations disponibles sur la période 1990-94 (tableau 5), on peut conclure que le traitement ne semble possible que pour une proportion réduite des communes ;
- ♦ cartographique : pour une représentation à l'échelle nationale, le découpage en communes est trop fin et risque de masquer les grandes tendances ;
- ♦ déontologique : une représentation à l'échelle communale apparaît trop précise à la plupart des laboratoires enquêtés.

<i>Détermination</i>	<i>Nombre de communes disposant d'au moins 10 résultats</i>
Carbone organique	5 511
pH	3 117
Potassium échangeable	3 104
Argile	2 423
CEC	1 442

*Tableau 5 : Nombre de communes disposant d'au moins 10 résultats selon les déterminations.*

En l'absence d'un repérage plus précis que la seule connaissance de la commune d'origine, trois autres bases de stratification restent possibles : le canton (3571 entités), la "petite région naturelle" (433 entités) ou le département (95 entités).

Pour choisir le découpage optimal et connaître la variabilité intra-strate (que l'on espère minimale), nous avons calculé les paramètres statistiques (moyenne, écart-type, médiane, quartiles) pour chacun de ces trois découpages. Ce calcul a également été fait pour les communes ayant un effectif supérieur à 30 pour avoir un point de comparaison.

Le tableau 6 ci-dessous résume les résultats obtenus en comparant la moyenne des écarts-type pour chacun des découpages selon la propriété étudiée. L'écart-type est utilisé comme indicateur de la variabilité : la comparaison de la moyenne des écarts-type intra-strates avec l'écart-type national permet d'apprécier l'intérêt des différents découpages pour décrire la variabilité spatiale d'une propriété. A titre d'exemple, l'écart-type du taux d'argile sur l'ensemble des échantillons est de 105 ‰ ; la moyenne des écarts-type intra-strates selon un découpage départemental est de 94 ‰, soit un ordre de grandeur similaire. Ce découpage départemental semble donc peu pertinent pour cette propriété.

	<i>Moyenne des écarts-type intra-strates</i>				
	<i>Commune</i>	<i>Canton</i>	<i>Petite Région Naturelle</i>	<i>Département</i>	<i>France entière</i>
Argile (‰)	63	74	86	94	105
Limons totaux (‰)	94	107	129	144	186
Sables totaux (‰)	111	126	156	179	215
Carbone organique (‰)	6.3	7.0	8.1	9.0	11.2
C.E.C (meq/100g)	5.8	7.5	10.2	11.3	17.2
pH eau	0.6	0.7	0.7	0.8	1.0
P205 Dyer (mg/kg)	189	201	212	215	247
P205 Joret-Hébert (mg/kg)	140	164	192	222	218
Potassium (mg/kg)	119	131	143	162	177
Magnésium (mg/kg)	93	110	145	169	156

*Tableau 6 : Comparaison de la variabilité intra-strate pour différents types de découpages (Commune, Canton, Petite Région Naturelle, Département) à la variabilité générale observée pour l'ensemble des échantillons.*

*La moyenne des écarts-type intra-strates est calculée à partir des entités (commune, canton...) pour lesquelles on dispose d'au moins 30 échantillons.*

L'analyse de ce tableau conduit aux conclusions suivantes :

- la moyenne des écarts-type intra-strates croît, pour toutes les propriétés, avec la taille de l'entité géographique de référence ;
- cette moyenne est dans la plupart des cas, sensiblement plus faible avec un découpage cantonal qu'avec un découpage en petites régions ; la variabilité intra-cantonale est de plus souvent peu supérieure à la variabilité intra-communale.

Par ailleurs deux types de comportements apparaissent :

- les paramètres dont la variabilité intra-cantonale est nettement inférieure à la variabilité générale : les fractions limoneuses, les sables, la CEC, le carbone organique ;
- ceux dont la variabilité intra-cantonale est plus forte (de 70 à 80 % de la variabilité générale) : l'argile, le pH, le potassium et le magnésium échangeables, le phosphore extractible.

Le premier groupe rassemble essentiellement des paramètres peu modifiés par les pratiques culturales, à la différence de ceux que l'on retrouve dans le second.

L'application de cette démarche au calcaire total présente peu d'intérêt à cause du très grand nombre de valeurs égales à zéro.

En résumé, le découpage cantonal apparaît intéressant dans la mesure où il répond aux contraintes évoquées ci-dessus, sans trop dégrader la précision de l'information traitée. C'est donc à ce niveau que nous avons choisi d'agrèger les données pour en faire la synthèse à l'échelle nationale.

*b) Quels descripteurs cantonaux ?*

Réaliser une représentation cartographique, basée sur les unités territoriales que sont les cantons, nécessite de déterminer une valeur unique représentative de l'ensemble des analyses provenant de chaque canton. Le mode de détermination de ce descripteur synthétique peut dépendre du type de variable. Par exemple des calculs de moyenne ou écart type ne sont pas compatibles avec des données non continues. On distingue trois types de données (tableau 7) : des données continues, correspondant aux valeurs brutes ou au résultat de calculs effectués à partir de celles-ci, et des données discrètes, provenant d'interprétation conduisant à des classes d'appréciation.

Données brutes, continues	Données calculées continues	Données d'interprétation agronomique, discrètes
argile, limons et sables	indice de battance	texture
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO, CEC		niveaux de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, MgO
pH, CaCO <sub>3</sub>		niveaux de CaO, de pH
matière organique, Azote	coef. de minéralisation, C/N	niveaux de matière organique
oligo-éléments		niveaux d'oligo-éléments

*Tableau 7 : Répartition des principales données selon leur type.*

L'utilisation de la moyenne suppose une distribution gaussienne de la variable étudiée qui n'est généralement pas vérifiée ici. On préférera donc avoir recours à la médiane qui est utilisable

pour toutes les variables. De plus la faible sensibilité de ce paramètre de position aux valeurs extrêmes lui confère un caractère de robustesse appréciable dans le cas de cantons disposant de peu d'analyses.

En complément de la médiane, la détermination des quartiles extrêmes permet une bonne appréciation de la dispersion d'une variable au sein d'un canton. Les quartiles nous paraissent préférables aux déciles dans la mesure où ils sont moins influencés par les distributions très étalées que nous rencontrons ; de plus, l'espace interquartiles permet de bien qualifier la partie centrale de la population.

Pour les variables non ordonnées (comme la texture), la médiane sera remplacée par l'occurrence dominante ou modale rencontrée sur chaque entité géographique. Dans ce cas, la représentation de la variabilité est moins aisée, elle peut cependant être abordée à partir de la représentativité de la classe dominante, indiquée par sa fréquence.

D'une façon plus générale, les représentations fréquentielles permettent une description quantifiée de la variabilité intra-cantonale : cela correspond à un apport important de cette banque de données. Ces représentations seront ensuite particulièrement adaptées pour une utilisation dans la cadre de modèles conduisant à des résultats évalués en termes probabilistes ou de risque.

#### *c) Mise en œuvre d'interprétations agronomiques*

Les données brutes n'ayant pas toujours une signification agronomique directe, leur interprétation s'avère parfois nécessaire. Elle est basée sur la connaissance d'autres paramètres tels que la teneur en argile ou en matière organique.

Toutefois, il n'existe pas de norme générale s'appliquant à tout le territoire national. Nous proposons ici d'utiliser les normes issues des travaux effectués à l'INRA de Laon (Rémy et Marin-Lafèche, 1974), en gardant à l'esprit les limites de cette approche.

Ces normes de l'INRA de Laon permettent de définir des classes de niveaux de richesse des sols pour les différents paramètres de l'analyse chimique et la matière organique. Nous avons réalisé les interprétations pour le phosphore, le potassium et le magnésium ; les abaques correspondants sont repris en annexe 3. Nous les avons cependant simplifiés pour ne conserver que trois classes :

- teneur faible (regroupement des classes "très faible" et "faible") ;
- teneur moyenne (regroupement des classes "assez faible", "satisfaisant" et "assez élevée") ;
- teneur forte (regroupement des classes "élevée" et "très élevée").

## **5. CARACTERISTIQUES DE LA BASE DE DONNEES OBTENUE**

Le regroupement des analyses selon un découpage cantonal permet de disposer de résultats pour 2881 cantons (soit 82 % de l'ensemble) et d'informations exploitables (au moins 10 analyses) pour 2162 cantons, soit pour près de 2 cantons sur 3 (figure 2).

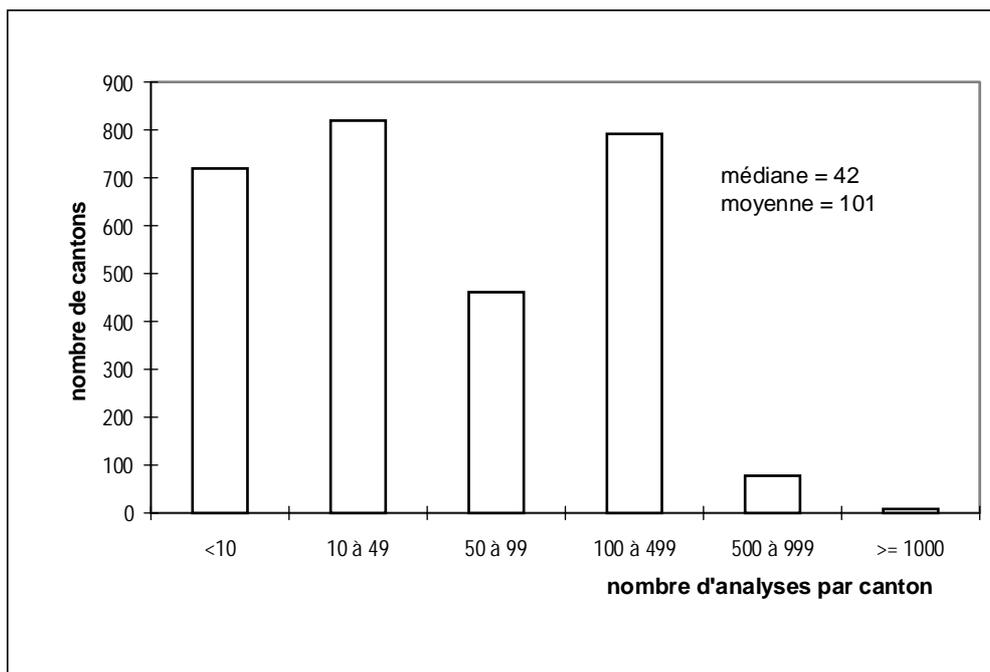


Figure 2 : Répartition des cantons selon le nombre d'analyses disponibles (les cantons sans analyse ne sont pas pris en considération).

En termes de répartition géographique des analyses, appréciée pour le nombre d'analyses par canton ou plus exactement la densité cantonale d'analyses évaluée par un rapport nombre d'analyses / surface cantonale totale, on remarque principalement deux phénomènes (carte 4) :

- d'importants vides correspondant soit à des zones de faible activité en matière d'analyses de terre (par exemple le Massif Central), soit à des zones d'influence de laboratoires n'ayant pas communiqué de résultats correspondant à la période d'étude ;
- deux zones très riches en analyses, reproduisant les localisations des équipes de travail (le Nord et la Bretagne), et mettant ainsi en évidence les relations tissées au fil des ans avec les laboratoires locaux.

La résolution de l'échantillonnage est inégale, une analyse étant réalisée pour moins de 50 ha à plus de 500 ha de surface cantonale totale. Les résolutions extrêmes (moins de 50 ha/analyse et plus de 500 ha/analyse) se retrouvent dans les deux types de zones évoqués ci-dessus. La grande majorité du territoire, caractérisé par au moins 10 analyses par canton, présente des résolutions comprises entre une analyse pour 50 ha et une analyse pour 300 ha.

On peut observer sur la carte 4 la distinction nette à faire entre nombre d'analyses par canton et résolution cantonale de l'échantillonnage. En effet, la prise en compte de la surface totale des cantons modifie nettement l'aspect de la répartition des analyses. Il serait ici intéressant de prendre en compte, plutôt que la surface cantonale totale, la SAU cantonale (dont nous ne disposons pas).

Sont prises en compte dans cette carte toutes les analyses portant au moins sur une détermination. Par la suite, chaque étude portant sur une détermination donnée reprendra le nombre de résultats disponibles concernant cette détermination. De plus, on ne retiendra alors que les cantons dont les résultats statistiques sont établis à partir de plus de 10 analyses.

#### CONCLUSION PARTIELLE

Cette première constitution d'une banque de données nationale d'analyses de terre a permis de regrouper les résultats d'environ 300 000 analyses de terre provenant de la plupart des régions françaises.

Ce résultat est à la fois encourageant et décevant. Encourageant car, vue la diversité et la multiplicité des partenaires à impliquer, la faisabilité d'un tel projet n'était pas acquise au départ. Encourageant également de disposer de résultats validés, exploitables, permettant une fois leur exploitation élémentaire réalisée, d'ouvrir de larges possibilités de traitements complémentaires des approches classiques de l'étude des sols et de leur cartographie.

Résultat un peu décevant cependant dans la mesure où il était envisageable de disposer, en cumul sur 5 années, d'une quantité d'informations beaucoup plus importante. En effet il est habituellement admis qu'environ 250 000 analyses de terre sont réalisées annuellement en France. Bien que cette évaluation soit vraisemblablement surévaluée, l'écart paraît grand entre ce qu'il était théoriquement possible de réunir et le résultat effectivement atteint. Nous en avons étudié les raisons et les plus importantes concernent des aspects déontologiques et commerciaux. En effet, les difficultés techniques sont soit faciles à surmonter, soit de faible incidence quand elles ne concernent que des quantités réduites d'informations.

**Chapitre 3 -**

**RÉSULTATS CONCERNANT  
LES DONNÉES PHYSIQUES**

**INTRODUCTION**

Dans la présentation qui va suivre, nous nous limitons à une approche purement descriptive des différentes propriétés prises une à une. Dans une étape ultérieure, les structures spatiales ainsi mises en évidence devront être interprétées en s'appuyant sur des cartes géologiques, pédologiques ou relatives aux systèmes d'exploitation. Il faudra également envisager une approche multivariable permettant d'étudier les corrélations spatiales entre différentes propriétés. Mais, ces prolongements ne sont pas d'actualité ; il convient de soumettre en premier lieu les résultats à la collectivité et de recueillir les réactions pour pouvoir repérer des résultats surprenants et les contrôler.

Nous procédons de ce fait variable par variable en donnant les principales caractéristiques de l'histogramme de la population totale et de ceux des médianes ou moyennes cantonales. Nous analysons ensuite la relation entre la moyenne et l'écart-type, avant de décrire brièvement les cartes cantonales des médianes et des quartiles inférieurs et supérieurs.

Le tableau 8 fournit de façon préalable des paramètres statistiques décrivant la variabilité globale ou intra-cantonale des propriétés étudiées.

	Ensemble des échantillons					Stratification cantonale		
	Effectif	Médiane	Quartiles	Déciles	Type de distribution	Médiane des médianes	Interdécile des médianes	Médiane des interdéciles
argile (‰)	122 268	185	141 - 269	107 - 385	lognormal	186	130 - 355	119
limons totaux (‰)	91 810	468	332 - 625	230 - 731	bimodal (400&700)	460	275 - 707	204
Sables totaux (‰)	78 529	290	143 - 489	74 - 643	unimodal (100)	262	88 - 562	219
LF/LG	91 810	1.1	0.6 - 1.6	0.5 - 2.3	lognormal	1.1	0.5 - 2.0	0.7
Indice de battance	91 810	1.1	0.7 - 1.7	0.5 - 2.1	lognormal	1.1	0.6 - 1.8	0.8
pH	291 971	6.5	5.9 - 7.7	5.5 - 8.1	bimodal (5.8 & 7.8)	6.7	5.8 - 8.0	1.4
Calcaire total (‰)	182 766	1	0 - 31	0 - 254	unimodal (0)	0.25	0 - 92	15
Matière org. (‰ de Cx1.72)	274 014	26	19 - 40	14 - 55	lognormal	24	15 - 45	19
CEC (mé/100g)	147 867	11	8 - 16	6 - 24	lognormal	11	7 - 20	7

*Tableau 8 : Statistiques générales de différentes propriétés physiques de l'horizon de surface pour l'ensemble des échantillons et pour la stratification cantonale.*

*(LF/LG = rapport limons fins sur limons grossiers ; IB = indice de battance calculé selon la formule  $((1,5 LF + 0,75LG) / (argile + 10 mat. orga)) [-0.2 (pH-7) si pH > 7]$*

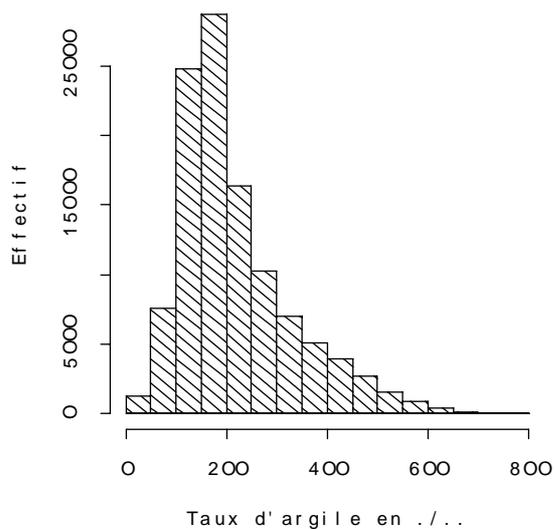
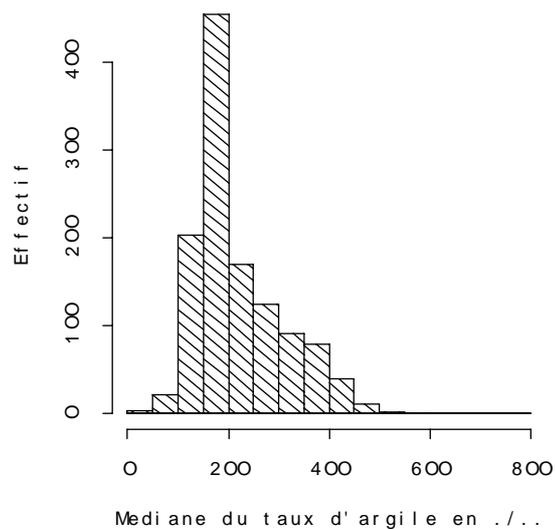


Figure 3.a : Histogramme de l'ensemble des analyses



3.b : Histogramme des médianes cantonales

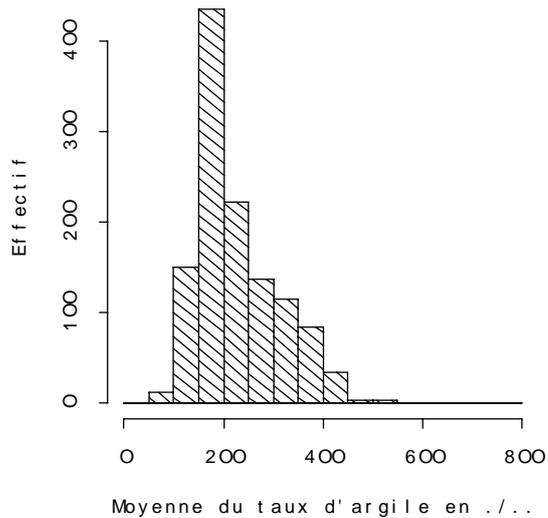


Figure 3.c : Histogramme des moyennes cantonales

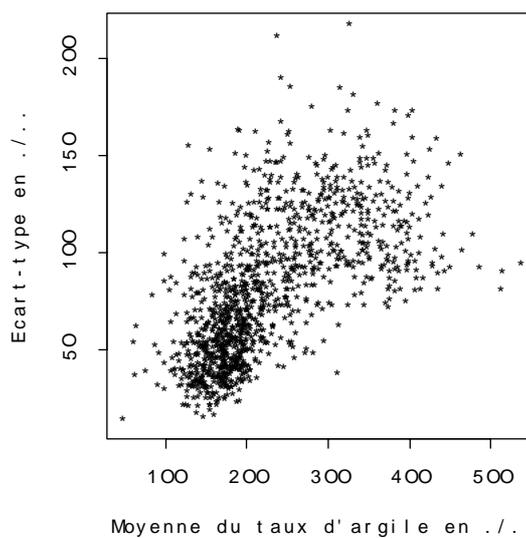


Figure 3.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 3 : Distribution des teneurs en argile

## 1. LES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES

Environ 100 000 analyses granulométriques sont disponibles avec une densité très variable selon les régions. Deux facteurs semblent influencer cette densité : d'une part, les analyses sont plus nombreuses dans les zones limoneuses du Bassin parisien et du nord, vraisemblablement pour disposer de l'indice de battance ; d'autre part, le développement de normes d'interprétation fondée sur la capacité d'échange cationique, a fait chuter le nombre de déterminations granulométriques dans certaines régions, par exemple en Bretagne.

### 1.1. La teneur en argile

Elle varie de 40 à 700 ‰ dans la population étudiée (figure 3a) selon une distribution lognormale, avec un mode entre 150 et 200 ‰, une médiane de 185 ‰.

L'histogramme des médianes ou moyennes cantonales (figures 3b et 3c) suit une allure similaire avec un mode plus marqué entre 150 et 200 ‰ (40 % des médianes cantonales). La relation entre la moyenne et l'écart-type est croissante pour des teneurs moyennes comprises entre 100 à 400 ‰ (figure 3d), montrant une variabilité plus importante dans les régions à teneur forte.

La carte des médianes cantonales (carte 5) montre un domaine prépondérant de teneurs comprises entre 150 et 200 ‰ : nord, ouest, Limousin, nord-est du Massif Central, couloir rhodanien, l'Alsace. Dans ce domaine, les quartiles inférieurs sont de l'ordre de 100 à 150 ‰ et les quartiles supérieurs généralement de 200 à 250 ‰.

Un premier groupe de régions se distingue par des teneurs médianes plus faibles, inférieures à 150 ‰ voire 100 ‰ : les Landes, la Sologne, la Vendée. Un second groupe se distingue par des teneurs médianes élevées (> 250 ‰) ou très élevées (> 400 ‰) : Charente-Maritime, Deux-Sèvres, Charentes, bordure est du Bassin parisien, sud de la Beauce, Jura.

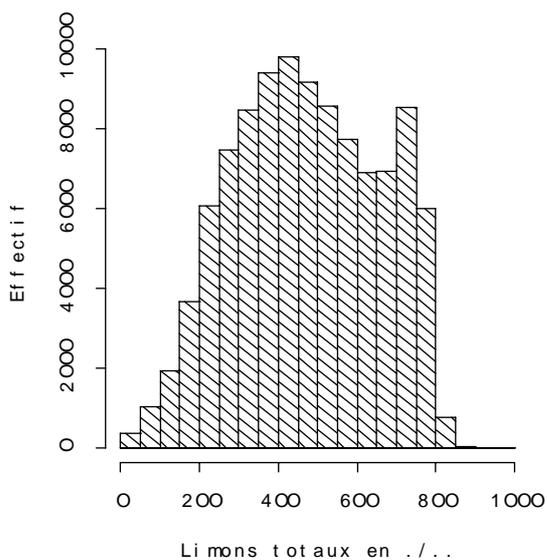


Figure 4.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

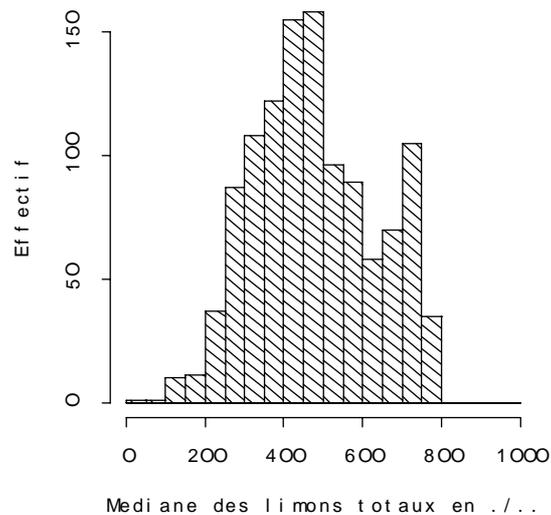


Figure 4.b : Histogramme des médianes cantonales

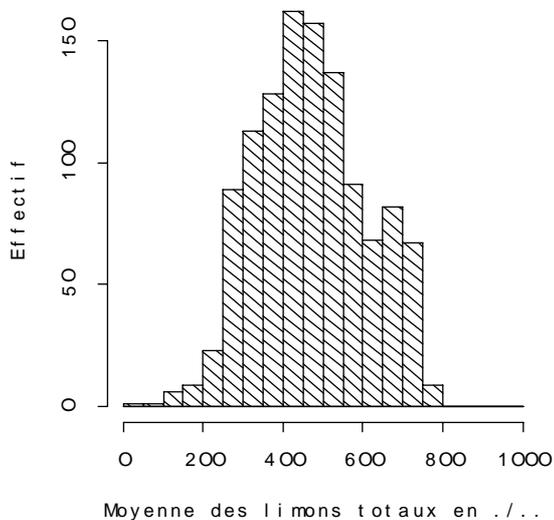


Figure 4.c : Histogramme des moyennes cantonales

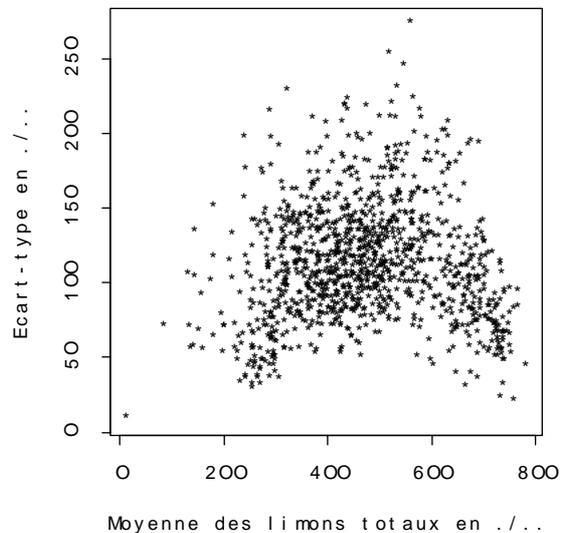


Figure 4.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 4 : Distributions des teneurs en limons totaux

## 1.2. La teneur en limons.

Dans la population totale, les fractions limoneuses varient entre 50 et 850 ‰ selon une distribution bimodale avec un premier mode à 400 ‰, un second à 700 ‰ (figure 4a). Il est de même pour les médianes et les moyennes cantonales (figures 4b et 4c) avec deux modes à 400 ‰ et 700 ‰, ce dernier étant moins bien représenté. Les moyennes et écarts-type semblent relativement indépendants (figure 4d).

La carte des médianes (carte 6) distingue principalement deux domaines en France, l'un au nord avec des médianes généralement comprises entre 600 et 800 ‰, l'autre plus au sud avec des valeurs entre 250 et 600 ‰.

Ces deux domaines se caractérisent également par des rapports différents entre les fractions limoneuses fines (de 2 à 20  $\mu$ ) et les fractions limoneuses grossières (20 à 50  $\mu$ ) (carte 7). Les limons grossiers sont prépondérants au nord ( $LF/LG < 0.75$ ). Au sud, les limons fins sont mieux représentés ( $LF/LG > 0.75$ ). Dans cette partie sud, des régions sur socle cristallin comme le Limousin, le Forez ou le Morvan se distinguent nettement par des rapports  $LF/LG$  élevés ( $> 2$ ).

Enfin, certaines limites, calées sur les limites administratives, entre l'Yonne et l'Aube ou entre la Haute-Vienne et la Vienne, sont étonnantes et laissent supposer des problèmes d'échantillonnage ou de différences analytiques entre laboratoires.

## 1.3. La teneur en sables totaux.

Les fractions sableuses varient entre 1 et 990 ‰ selon une distribution unimodale, avec un mode entre 50 et 100 ‰, une médiane de 290 ‰ (figure 5a). Les histogrammes des valeurs médianes et moyennes (figures 5b et 5c) ont une allure différente, les fréquences des classes comprises entre 150 et 450 ‰ étant équivalentes.

La relation entre la moyenne et l'écart-type (figure 5d) est croissante entre 0 et 400 ‰ puis stable voire décroissante.

Les cartes (carte 8) permettent de distinguer certaines zones non perçues à travers les autres fractions : faiblesse des teneurs dans une partie de la région Nord, en Beauce, en Brie ; teneurs élevées en Sologne, dans les Landes, en Loire-Atlantique.

## 1.4. Les classes de texture.

Les fractions granulométriques permettent de placer chacun des échantillons dans un triangle de texture ; celui retenu est le triangle GEPPA, qui est a priori le plus usité en France (Baize, 1988). Ce classement fournit une vision synthétique des variations granulométriques. La représentation des déterminations dans ce triangle illustre les classes de texture les plus fréquentes dans la population échantillonnée : Sa, Sal, LAS, Lsa, L, La.

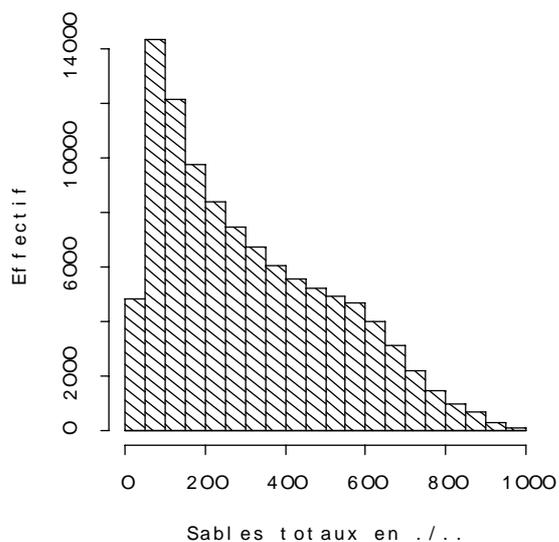


Figure 5.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

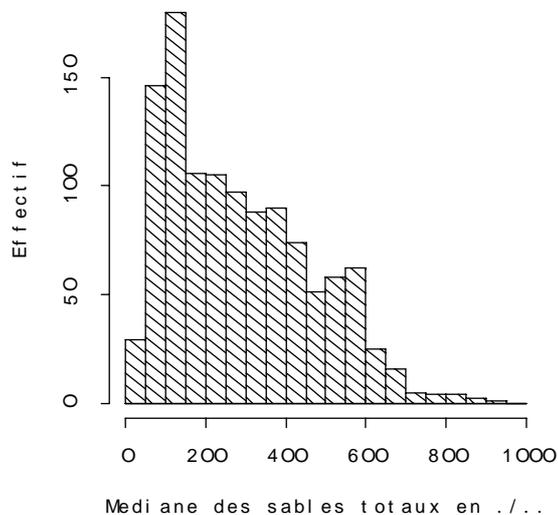


Figure 5.b : Histogramme des médianes cantonales

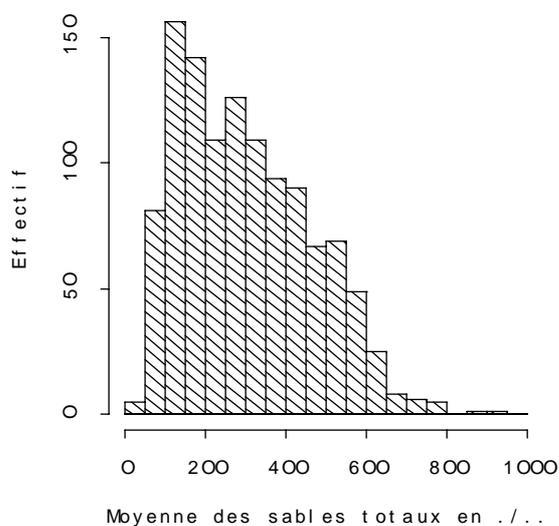


Figure 5.c : Histogramme des moyennes cantonales

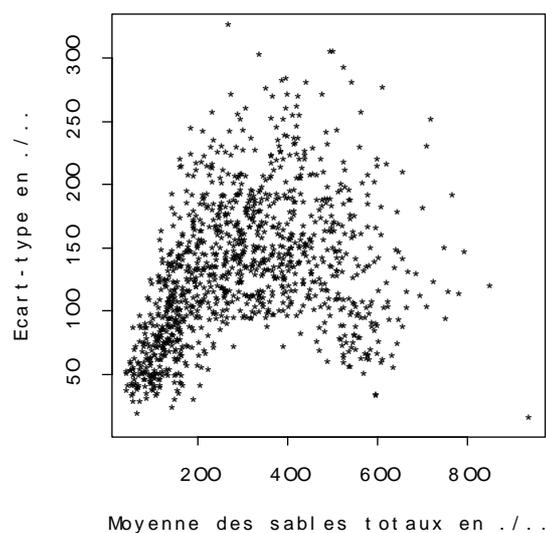


Figure 5.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 5 : Distributions des teneurs en sables totaux

Pour cartographier les classes texturales (carte 9 et 9bis), nous avons choisi de représenter pour chaque canton les deux classes les plus fréquentes et d'indiquer la proportion des échantillons appartenant à la classe modale. Cette proportion est un indicateur de la variabilité intra-cantonale de la texture.

Les deux cartes de classes texturales représentent en général des classes proches, mais leur combinaison est instructive. A titre d'exemple, la classe "limon sablo-argileux" constitue la classe modale d'une grande partie du département de Loire-Atlantique, représentant de 30 à 60 % des échantillons. Or, l'observation des secondes classes permet de distinguer les "limons argilo-sableux" des "sables argilo-limoneux", selon une limite correspondant à la bordure sud des synclinaux primaires du Massif armoricain.

La carte des textures modales regroupe les distinctions opérées lors de l'analyse isolée des différentes fractions. Dans certaines régions, on peut clairement avancer une texture dominante : Lsa dans l'Ouest, L ou La dans le Nord et le Bassin parisien, A ou AA en bordure est du Bassin parisien, Sal en Limousin ou le Forez. Dans d'autres régions, il est plus difficile de proposer une texture dominante, la variabilité semblant plus importante comme en Aquitaine ou la vallée du Rhône.

Cette carte des textures présente de très grandes analogies avec la carte des textures de surface dérivée de la carte pédologique au 1/1.000.000 de France (Jamagne *et al.*, 1995). On retrouve dans les deux documents les grandes tendances suivantes : textures L dans l'Ouest, L ou AL dans le Nord et le Bassin parisien, AL ou A en bordure est du Bassin parisien, SA en Limousin ou le Forez. Certaines différences dans l'extension des zones seraient néanmoins intéressantes à étudier.

### **1.5. Conclusion sur la granulométrie**

La cartographie des fractions granulométriques montre l'existence de tendances de grande portée qui sont visiblement à relier aux structures géologiques, géomorphologiques (extension des limons éoliens) ou à des processus pédogénétiques. Il sera de ce fait intéressant, dans un travail à venir, de croiser les cartes statistiques obtenues avec des cartes géologiques ou pédologiques. Ce croisement pourra se faire à l'échelle nationale grâce à des documents au 1/1 000 000<sup>ème</sup> (Schvartz *et al.*, 1998), ou à l'échelle régionale avec des documents de précisions diverses selon les régions, depuis le 1/25 000<sup>ème</sup> jusqu'au 1/250 000<sup>ème</sup>.

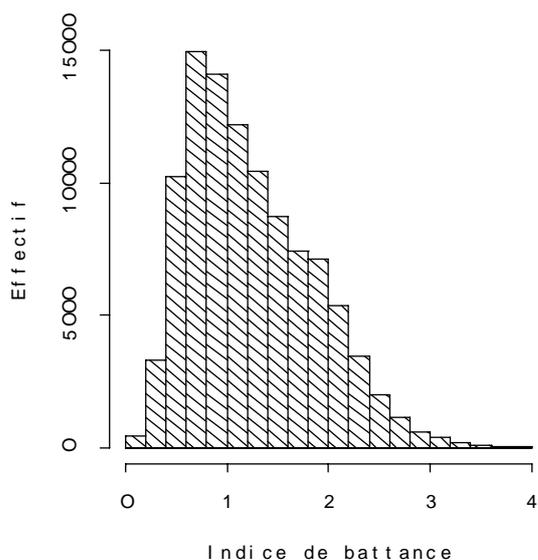


Figure 6.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

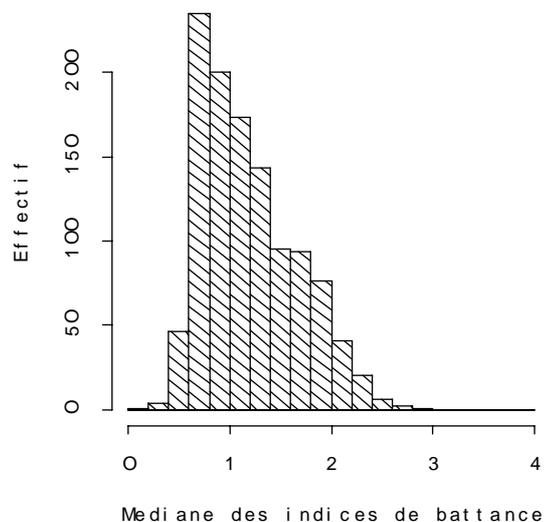


Figure 6.b : Histogramme des médianes cantonales

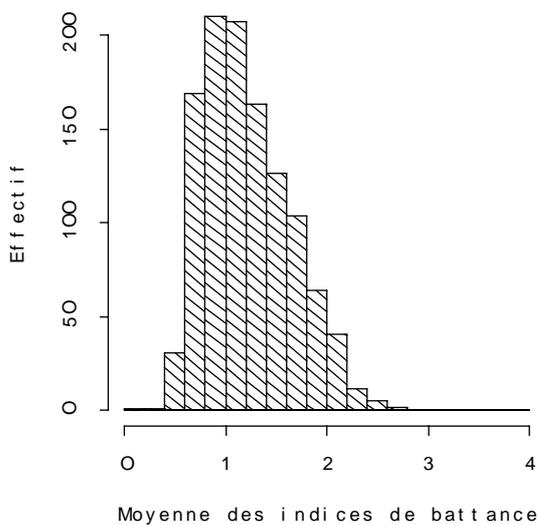


Figure 6.c : Histogramme des moyennes cantonales

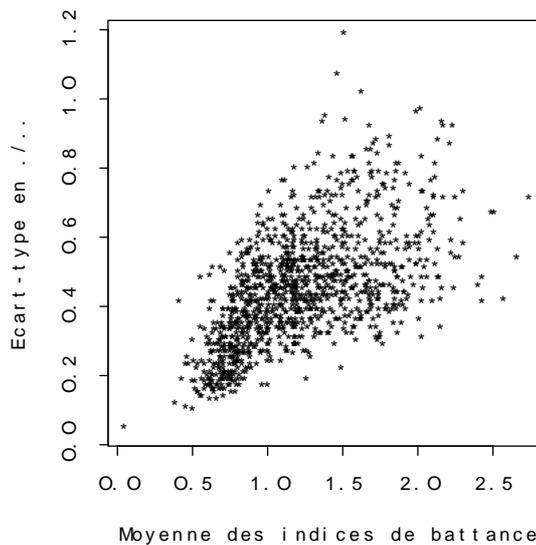


Figure 6.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 6 : Distributions des indices de battance

### 1.6. L'indice de battance.

La formule utilisée pour le calcul de l'indice de battance, issue des travaux de l'INRA de Laon (Remy et Marin-Lafèche, 1974), est la suivante :

$$IB = \frac{1.5 * \text{limon fin} + 0.75 * \text{limon grossier}}{\text{argile} + 10 * \text{matière organique}} [-0.2 (\text{pH}-7) \text{ si } \text{pH} > 7]$$

Les résultats sont cependant à envisager avec un esprit critique, la norme de calcul n'ayant pas une portée nationale.

On dispose à l'échelle nationale et sur l'intervalle de temps 1990-1994 d'environ 90 000 résultats.

L'indice de battance varie de 0.2 à 3.8 selon une distribution unimodale de mode 0.6 (figure 6a).

Les distributions des moyennes et médianes cantonales (figures 6b et 6c) montrent des modes à 0,8 et une décroissance rapide à partir de 1,7. La relation entre moyennes cantonales et écarts-type (figure 6d) est globalement croissante malgré une dispersion élevée sur tout le domaine d'étude.

Les cartes des médianes et quartiles (carte 10) définissent plusieurs types de zones :

- *des zones à indice de battance et à dispersion intra-cantonale faibles* (indices inférieurs à 1,4), en grande proportion ;
- *des zones à indices de battance élevés* (supérieurs à 1,6), avec une dispersion moyenne, dans le pourtour du Bassin parisien, le nord, le nord du couloir rhodanien ;
- *des zones à indices de battance moyens* (de moins de 1,4 à plus de 1,8) et dispersion forte dans la vallée de la Garonne ;
- *des zones à indices de battance compris entre 1,4 et 1,8, avec dispersion faible* localement en Ile-et-Vilaine, en Champagne-Ardenne et dans les Charentes.

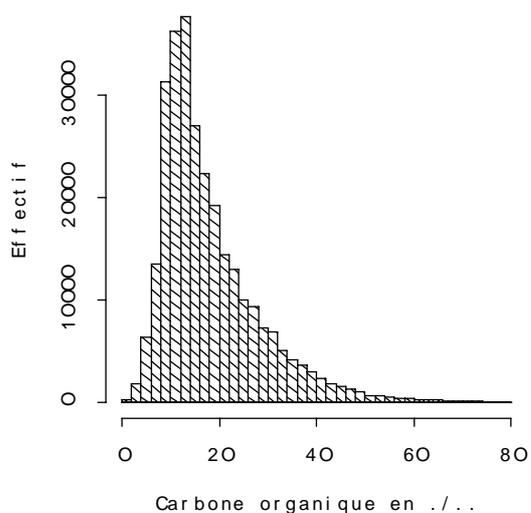


Figure 7.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

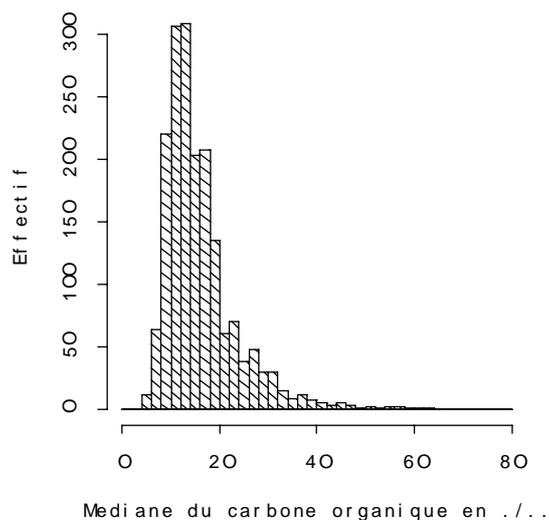


Figure 7.b : Histogramme des médianes cantonales

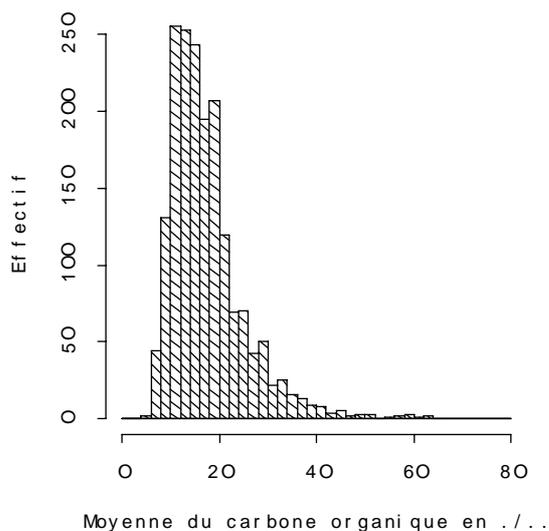


Figure 7.c : Histogramme des moyennes cantonales

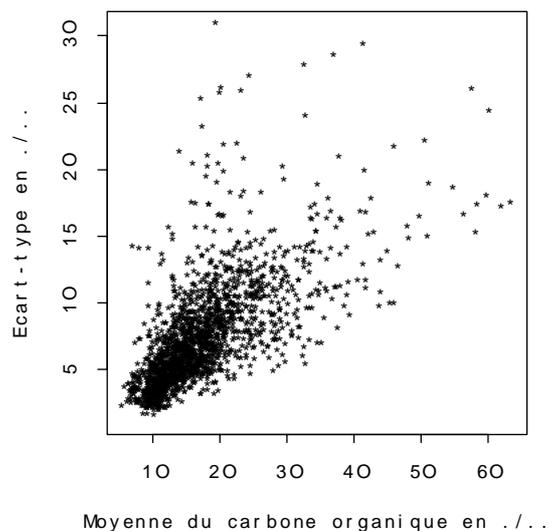


Figure 7.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 7 : Distributions des teneurs en carbone organique

## 2. LA TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE

Environ 275 000 déterminations du carbone organique ont été rassemblées pour la période de 1990 à 1994, permettant de disposer dans une majorité des situations, de plus de cinquante déterminations par canton (carte 11).

La distribution du carbone organique est comprise entre 3 et 80 ‰ selon une distribution lognormale avec un mode entre 12 et 14 ‰ (figure 7a) et une valeur médiane de 26 ‰.

Pour les médianes cantonales, le domaine de variation s'étend de 6 à 60 ‰. Mais, l'histogramme des médianes ou moyennes cantonales (figures 7b et 7c) est nettement plus resserré, 75 % des médianes cantonales étant comprises entre 8 et 20 ‰. La relation entre moyenne et écart-type est croissante sur tout le domaine d'étude (figure 7d) : les cantons à teneur moyenne élevée présentent donc une variabilité plus forte que ceux à teneur moyenne faible.

La représentation cartographique (carte 11) a été établie en multipliant la valeur du carbone organique par un coefficient de 1.72 pour obtenir une représentation usuelle de la matière organique.

Les cartes permettent de distinguer différents domaines avec les caractéristiques suivantes :

- \* *des médianes faibles avec une dispersion faible* (le centre du Bassin parisien, l'Aquitaine, la vallée du Rhône, l'Aude, l'Alsace). Les teneurs sont faibles, avec des médianes généralement inférieures à 20 ‰ et la dispersion est également faible : les quartiles inférieurs sont de l'ordre de 15 ‰ et les quartiles supérieurs sont en deçà de 25 ‰.

- \* *des médianes moyennes avec une dispersion moyenne* (le pourtour du Bassin parisien : l'Ille-et-Vilaine, la Loire-Atlantique, la Vendée, les Deux-Sèvres, la Vienne, la Haute-Vienne, Champagne-Ardenne, le Nord-Pas-de-Calais, le Périgord). Les teneurs médianes sont de l'ordre de 25 à 40 ‰ et la dispersion est moyenne : les quartiles inférieurs se situent entre 20 et 30 ‰, les quartiles supérieurs entre 30 et 50 ‰.

- \* *des médianes élevées avec une dispersion forte* (le sud du Massif armoricain, le nord des Charentes (Marais poitevin, Aunis), le Massif central, le Charolais, le Jura, les Vosges). Les teneurs médianes sont élevées, de l'ordre de 50 à 70 ‰ et la dispersion souvent importante. Des gradients continus de teneurs sont observés avec les régions voisines à teneurs plus faibles.

*Les teneurs en matière organique présentent des grandes tendances générales à l'échelle de la France. Elles semblent plus complexes à interpréter que celles de la granulométrie : outre des considérations géologiques ou pédologiques, l'influence des caractéristiques climatiques (Massif armoricain, zones montagneuses) et des systèmes de production doit être ici prise en compte.*

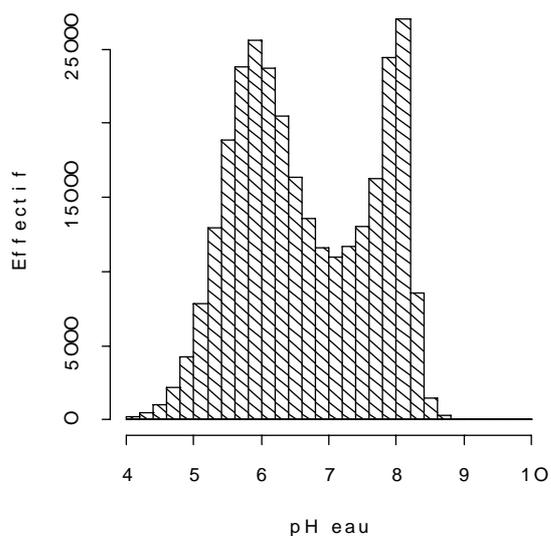


Figure 8.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

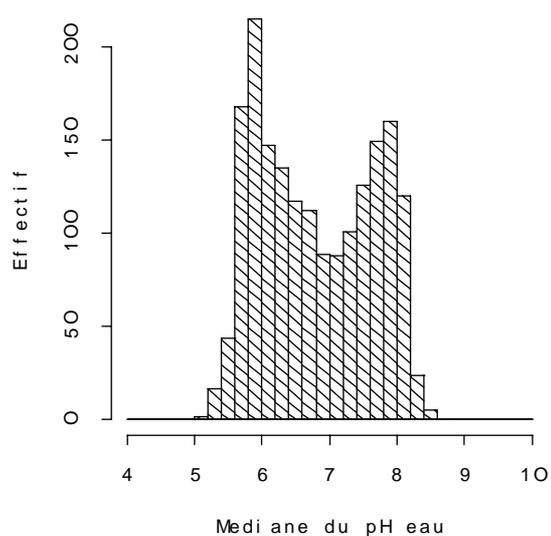


Figure 8.b : Histogramme des médianes cantonales

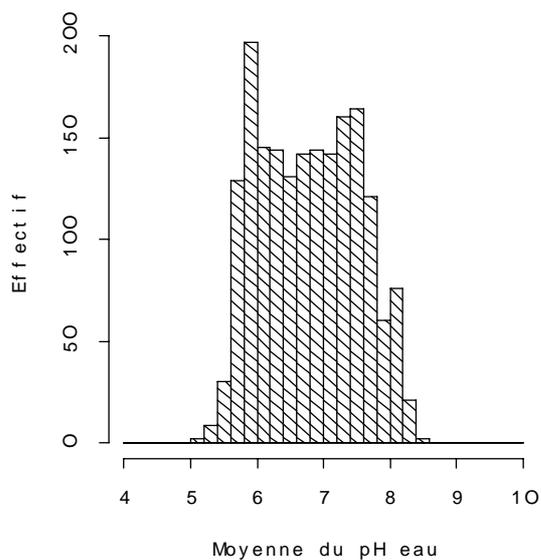


Figure 8.c : Histogramme des moyennes cantonales

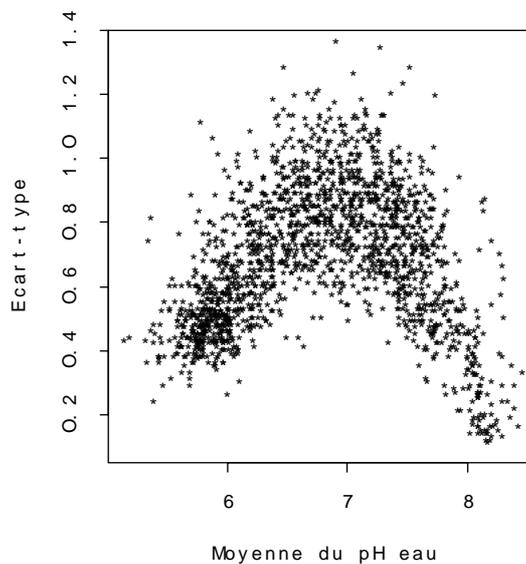


Figure 8.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 8 : Distributions du pH eau

### 3. LE PH

Le pH eau est la détermination la mieux représentée avec un effectif de 292 000 sur la période étudiée. Notons que le pH KCl est rarement mesuré.

Dans l'ensemble de la population d'échantillons, le pH varie de 4 à 9 (figure 8a), selon une distribution bimodale avec un premier mode à 5,8 et un second mode à 8,0 : les sols de pH supérieur à 7 représentent 35 % des échantillons disponibles. Les histogrammes des médianes et moyennes cantonales (figures 8b et 8c) ont une allure bimodale similaire avec une étendue plus réduite, comprise entre 5 et 8,6.

La relation entre la moyenne et l'écart-type est croissante depuis pH 5 jusqu'à pH 7, puis décroissante (figure 8d) : c'est donc dans les cantons à moyenne proche de la neutralité que la variabilité interne est la plus forte, de toute évidence en raison de la diversité des pratiques de chaulage. La variabilité est moindre dans les cantons à sols très acides ou très basiques.

Les cartes (carte 12) présentent des tendances régionales marquées permettant de distinguer trois types de domaines :

- \* *des pH acides à très acides* (le Massif armoricain, le Limousin, l'ouest de l'Aquitaine, le nord du Massif central, les Vosges). Les pH médians sont plus acides que 6.2, parfois même 5.5 comme en Limousin. Les quartiles inférieurs sont très souvent en deçà à 5.5 et les quartiles supérieurs compris entre 5.8 et 6.2.
- \* *des pH proches de la neutralité avec une forte dispersion* (le Bassin parisien et le Nord, Poitou-Charentes, le centre Aquitaine). Les pH médians sont généralement compris entre 7 et 8, mais les quartiles inférieurs peuvent être en deçà de 6.2 (ouest du Bassin parisien). Par ailleurs, les quartiles supérieurs dépassent fréquemment 8.
- \* *des pH très basiques* (nord de l'Aube et Marne, nord des Charentes, sud de la Drôme, nord-est du Gers, Aude). Les pH médians, mais également les quartiles inférieurs, sont très souvent au delà de 8. Ces régions sont celles dont les teneurs en calcaire total dans les horizons de surface sont les plus élevées, plus fortes que 100 ‰ (Schvartz et al., 1995).

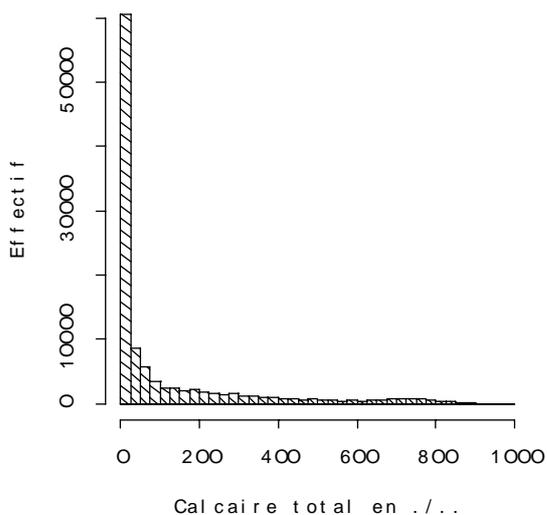


Figure 9.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

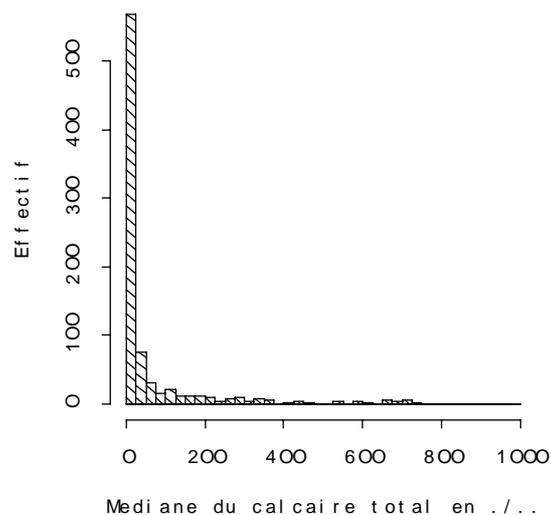


Figure 9.b : Histogramme des médianes cantonales

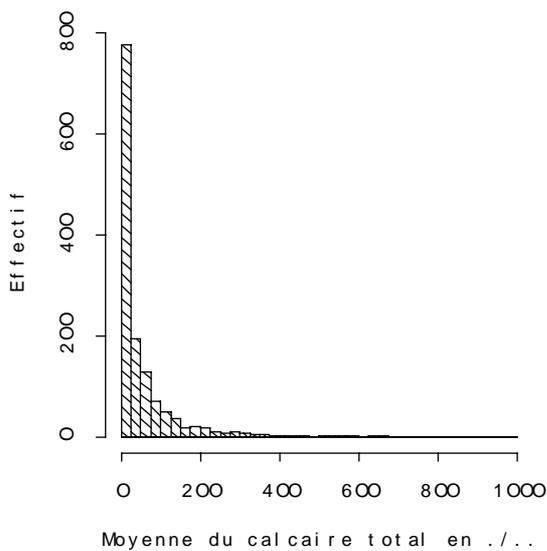


Figure 9.c : Histogramme des moyennes cantonales

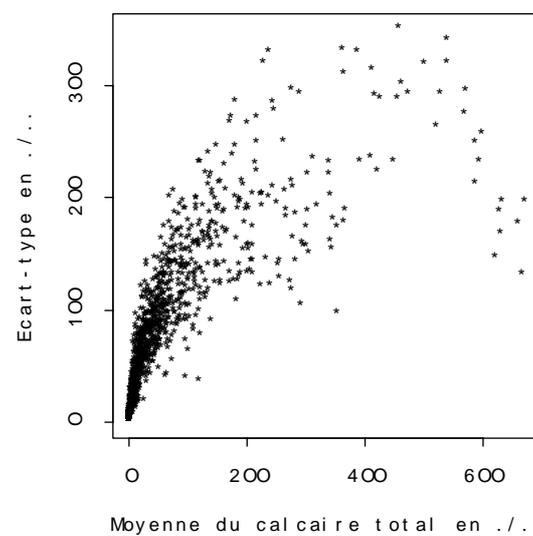


Figure 9.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 9 : Distributions des teneurs en calcaire total

#### 4. LE CALCAIRE TOTAL.

180 000 analyses du calcaire total sont disponibles, la détermination n'étant pas réalisée dans de nombreuses régions (Ouest, Landes, Limousin) où la teneur est considérée nulle a priori.

L'histogramme des teneurs montre une très forte prépondérance des teneurs inférieures à 50 ‰ (figure 9a), les teneurs supérieures à 50 ‰ ne représentant que 10 % de l'effectif total. Cette proportion se retrouve pour les médianes ou moyennes (figures 9b et 9c). La relation entre moyenne et écart-type est fortement croissante entre 0 et 100 ‰, puis fluctue largement autour d'un écart-type de l'ordre de 200 ‰ (figure 9d).

Les cartes (carte 13) présentent des tendances très proches de celles du pH dont elles expliquent une part importante de la variabilité. Les régions citées précédemment comme ayant des pH très élevées sont celles qui ont des teneurs en calcaire total supérieures à 100 ‰.

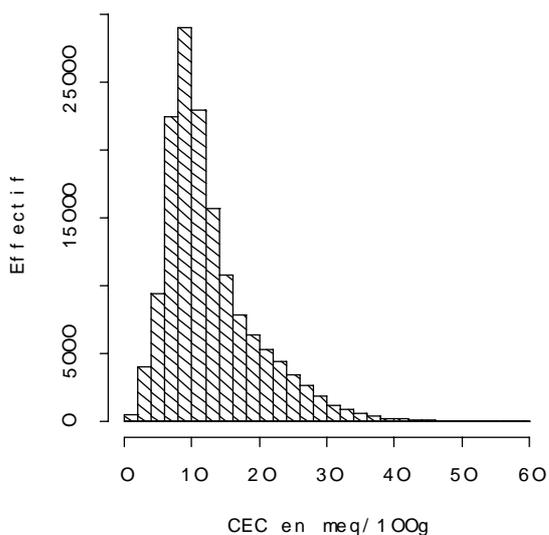


Figure 10.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

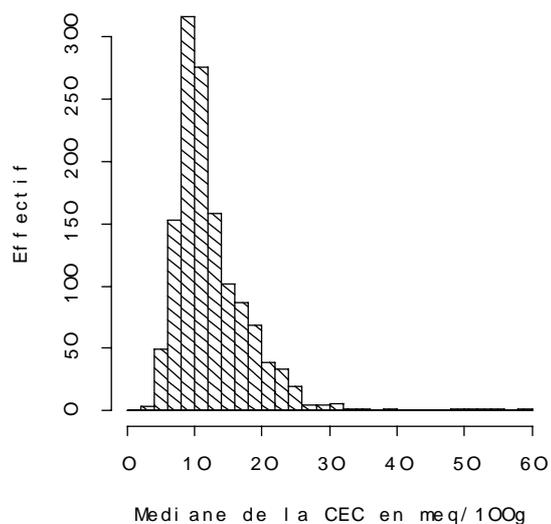


Figure 10.b : Histogramme des médianes cantonales

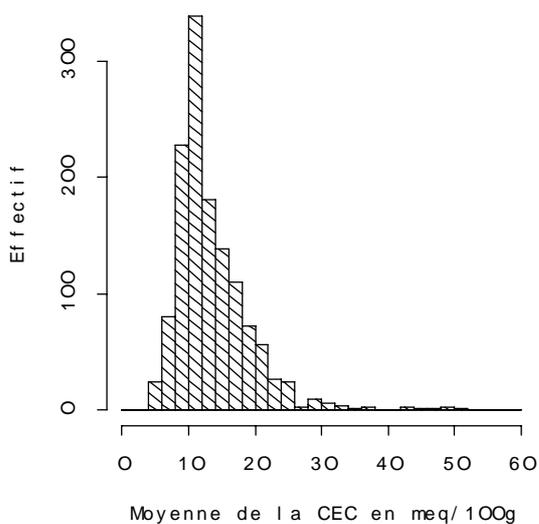


Figure 10.c : Histogramme des moyennes cantonales

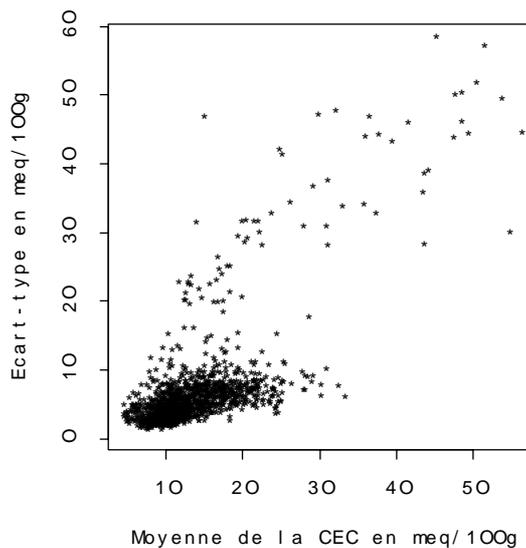


Figure 10.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 10 : Distributions de la capacité d'échange cationique

## 5. LA CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE

L'effectif de la CEC est de 150 000 déterminations. La méthode utilisée est la méthode Metson excepté en Limousin où il s'agit de la méthode Riehm.

L'étendue de la population totale va de 2 méq/100g à 60 méq/100g selon une distribution unimodale avec une médiane de 11 méq/100g (figure 10a). L'histogramme des valeurs médianes ou moyennes (figures 10b et 10c) est plus resserré, les valeurs supérieures à 32 méq/100g étant exceptionnelles. La relation entre la moyenne et l'écart-type est très chaotique, une centaine de cantons se distinguant du reste de la population par un écart-type important et fortement croissant avec la moyenne (figure 10d).

Les cartes (carte 14) montrent une proportion importante du territoire avec des valeurs médianes comprises entre 8 et 12 méq/100g.

Les régions présentant des teneurs médianes faibles, inférieures à 8 meq/100g sont les suivantes : Loire-Atlantique, Ouest de la Vendée, Sologne, Landes. Celles présentant des médianes élevées, supérieures à 16 meq/100g sont les Charentes, l'est du Bassin parisien.

Les variations de la CEC sont liées à celles des teneurs en argile et de la matière organique, l'influence de la nature de ces dernières nécessitant une étude plus détaillée.

### CONCLUSION

Les propriétés précédentes présentent toutes une organisation spatiale marquée par de grandes tendances régionales. Celles-ci sont souvent liées à des structures géologiques, géomorphologiques ou pédologiques connues, mais nous nous sommes volontairement limités à une approche descriptive pour éviter les interprétations trop hâtives.

L'existence de ces grandes structures ne doit pas masquer deux traits marquants :

- ♦ d'une part, l'existence d'une variabilité intra-cantonale souvent importante, illustrée par la comparaison des cartes des quartiles et le calcul des écarts-type intra-cantonaux (tableau 6) ;
- ♦ d'autre part, l'existence de structures de plus petite extension, à l'échelle de quelques cantons. L'identification de ces structures suppose une lecture détaillée des cartes, région par région, avec un expert régional, pour éviter les erreurs d'interprétation. Il est de ce fait important de soumettre les résultats à la collectivité pour pouvoir recueillir les commentaires, confirmations, étonnements ou dénégations des experts.

**Chapitre 4 -  
RÉSULTATS CONCERNANT  
LES DONNÉES CHIMIQUES**

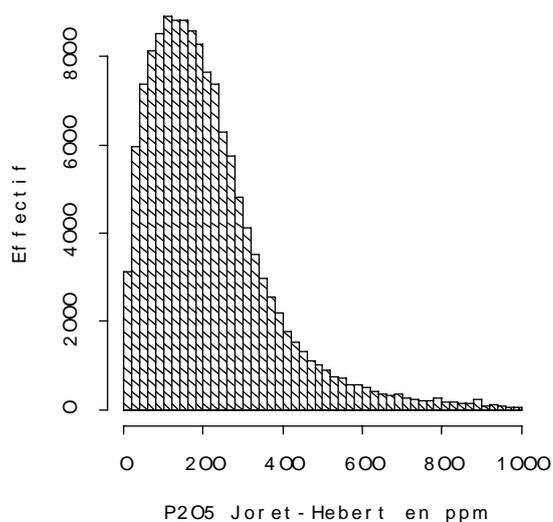


Figure 11.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

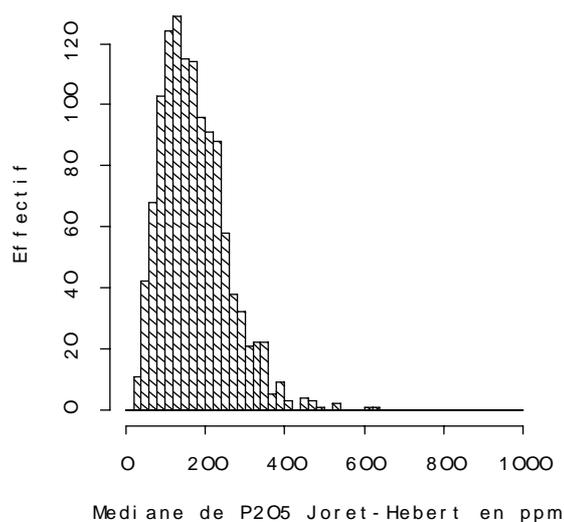


Figure 11.b : Histogramme des médianes cantonales

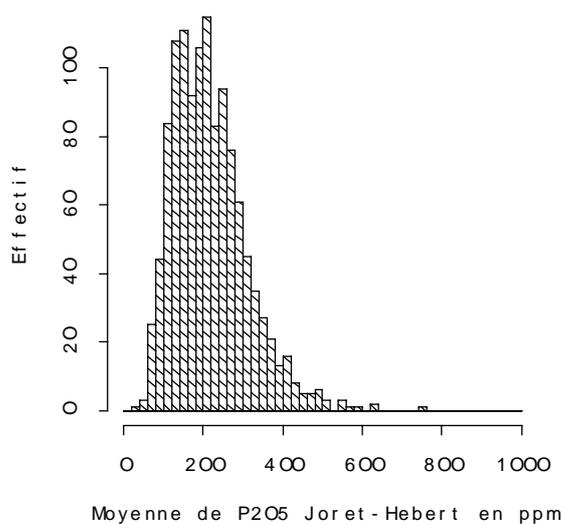


Figure 11.c : Histogramme des moyennes cantonales

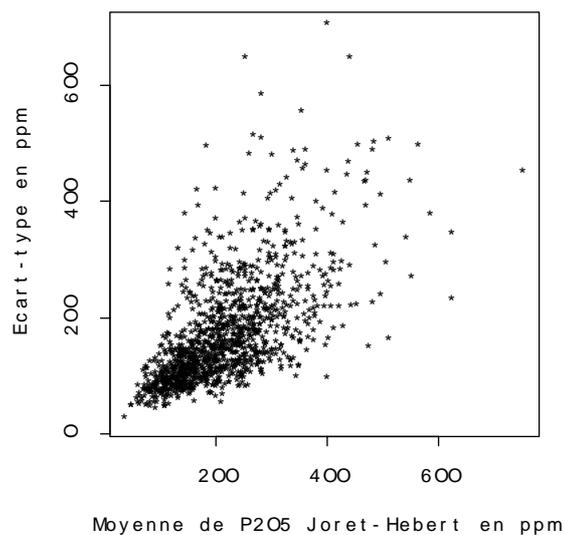


Figure 11.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 11 : Distributions des teneurs en phosphore extractible Joret-Hébert

**INTRODUCTION**

En plus de l'approche descriptive effectuée selon le modèle précédent (caractéristiques des histogrammes et de la relation entre la moyenne cantonale et l'écart-type, puis examen des cartes cantonales des médianes et quartiles extrêmes), nous avons pour les déterminations chimiques, effectué une interprétation agronomique basée sur les normes de l'INRA de Laon. Rappelons que, ces normes n'ayant pas vocation à présenter cette portée nationale, il faut lire les cartes avec un esprit critique et les considérer comme une première tentative d'interprétation.

Le tableau 9 fournit de façon préalable des paramètres statistiques décrivant la variabilité globale ou intra-cantonale des propriétés étudiées.

	Effectif	Ensemble des échantillons				Stratification cantonale		
		Médiane	Quartiles	Déciles	Type de distribution	Médiane des médianes	Interdéciles des médianes	Médiane des interdéciles
Phosphore assim. Dyer (mg/kg P2O5)	144 416	261	149 - 412	77 - 591	lognormal	215	108 - 380	287
Phosphore assim. Joret (mg/kg P2O5)	137 010	190	110 - 290	58 - 430	lognormal	164	80 - 285	219
Potassium échang. (mg/kg K2O)	288 749	233	160 - 330	110 - 460	lognormal	227	150 - 350	235
Magnésium échang. (mg/kg MgO)	286 241	132	90 - 200	65 - 310	lognormal	136	90 - 255	154
Bore soluble (mg/kg)	71 856	0.3	0.2 - 0.6	0.1 - 1.0	lognormal	0.3	0.2 - 0.7	0.3
Manganèse EDTA (mg/kg)	90 154	16	9 - 34	6 - 60	lognormal	20	9 - 49	27
Zinc EDTA (mg/kg)	79 569	2.2	1.4 - 3.6	1.0 - 6.1	lognormal	2.2	1.3 - 4.2	2.6
Cuivre EDTA (mg/kg)	106 706	2.1	1.3 - 3.4	0.9 - 6.0	lognormal	2.0	1.2 - 4.7	2.1

*Tableau 9 : Statistiques générales de différentes propriétés chimiques de l'horizon de surface pour l'ensemble des échantillons et pour la stratification cantonale.*

**1. LE PHOSPHORE EXTRACTIBLE**

On dispose, toutes méthodes analytiques confondues, d'environ 280 000 analyses, dont 48 % selon la méthode Joret-Hébert, 51 % selon Dyer et 1 % selon Olsen. Compte tenu du nombre réduit de déterminations du phosphore selon cette dernière méthode, nous n'avons pas réalisé d'analyses sur ces résultats.

La densité des analyses est variable selon les régions et les méthodes analytiques. Si le Nord, les Charentes et le Centre semblent préférer la méthode Joret-Hébert, la Bretagne, la côte Atlantique et la région lyonnaise optent plutôt pour la méthode Dyer. Le Limousin est représenté de façon similaire par les deux méthodes.

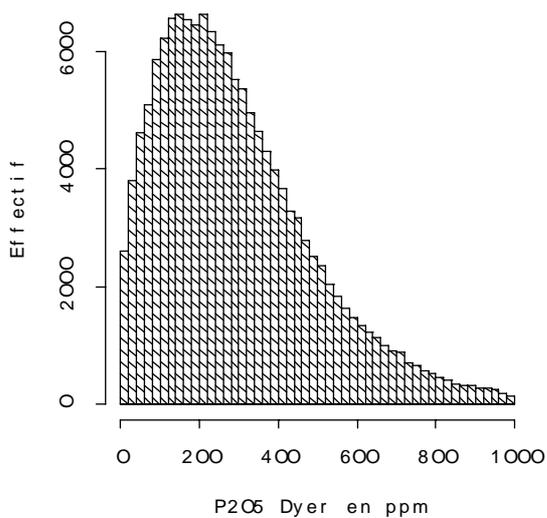


Figure 12.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

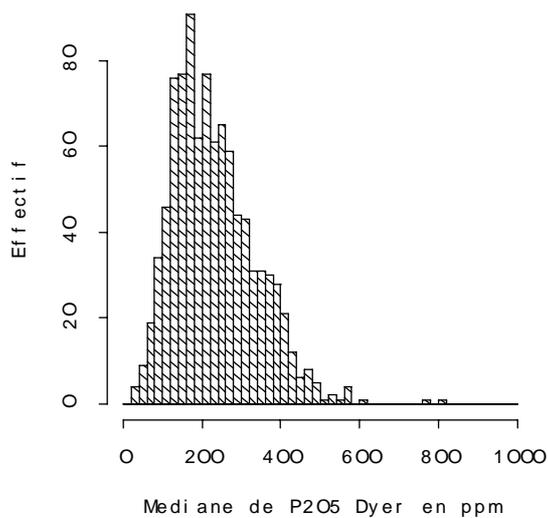


Figure 12.b : Histogramme des médianes cantonales

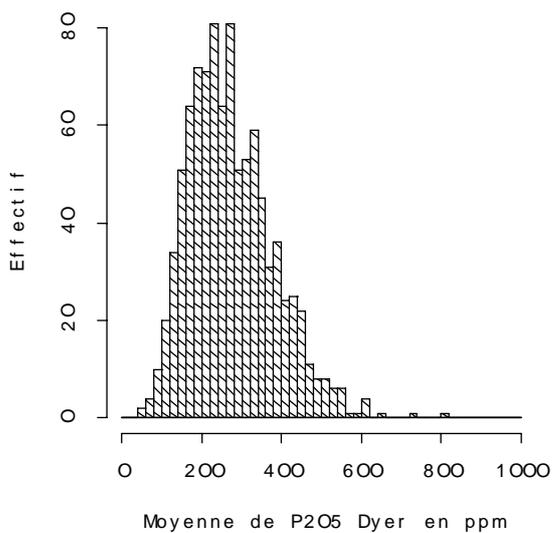


Figure 12.c : Histogramme des moyennes cantonales

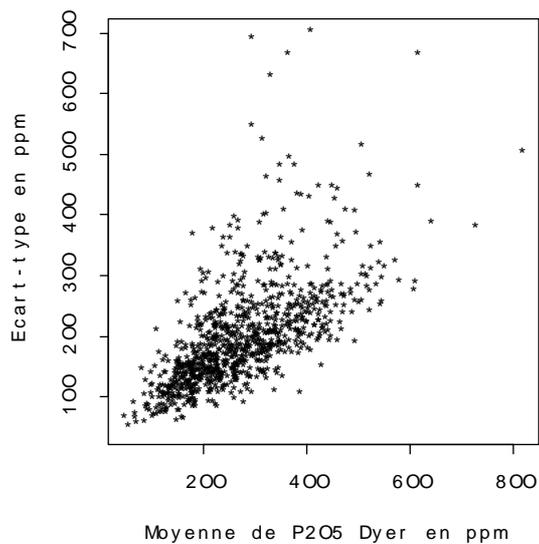


Figure 12.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 12 : Distributions des teneurs en phosphore extractible Dyer

### 1.1. Le phosphore extractible Joret-Hébert

La teneur varie de 10 à environ 9000 mg/kg selon une distribution lognormale, avec un mode entre 100 et 120 mg/kg et une médiane de 190 mg/kg (figure 11a).

Les histogrammes des moyennes et médianes cantonales suivent une distribution unimodale, avec des modes légèrement supérieurs au précédent (figures 11b et 11c) et des valeurs maxima inférieures à 600 mg/kg.

La relation entre la moyenne cantonale et l'écart-type est croissante, plus marquée pour des teneurs moyennes inférieures à 300 mg/kg, la variabilité augmentant au-delà de cette valeur (figure 11d).

La carte des valeurs médianes (carte 15) montre une majorité de teneurs comprises entre 100 et 300 mg/kg, les quartiles supérieurs dépassant rarement 400 mg/kg, et les quartiles inférieurs atteignant des valeurs inférieures à 100 mg/kg.

Certaines régions se distinguent cependant :

- par des teneurs médianes plus faibles, inférieures à 100 mg/kg : le Limousin et les Ardennes ; les quartiles supérieurs ne dépassent presque jamais 200 mg/kg ;
- par des teneurs médianes plus élevées, rarement inférieures à 200 mg/kg : le Nord, notamment la zone des Wateringues, la Vendée et la Bretagne ; la variabilité intra-cantonale dans ces zones est assez importante.

### 1.2. Le phosphore extractible Dyer

Les teneurs varient de 10 à 7 800 mg/kg, selon une distribution lognormale, le mode se situant autour de 200 mg/kg (figure 12a). La médiane de la population totale est de 261 mg/kg.

Les distributions des moyennes et médianes cantonales (figures 12b et 12c) sont, par rapport à celle de la population totale, tronquées vers les maxima, avec des modes d'environ 250 mg/kg.

La relation entre la moyenne cantonale et l'écart-type est nettement croissante, la variabilité intra-cantonale augmentant à partir de teneurs moyennes de 300 mg/kg (figure 12d).

La carte des médianes cantonales (carte 16), effective principalement dans l'Ouest, présente une majorité de teneurs comprises entre 100 et 400 mg/kg. Cependant, les cartes des quartiles permettent de distinguer des zones à teneurs élevées, les quartiles supérieurs dépassant 400 mg/kg : la Bretagne, l'Aquitaine et la région lyonnaise. Dans les deux premières, les quartiles inférieurs sont toujours supérieurs à 100 mg/kg, mais dans la dernière (la région lyonnaise), ils atteignent souvent des valeurs inférieures à 100 mg/kg, témoignant d'une variabilité intra-cantonale importante.

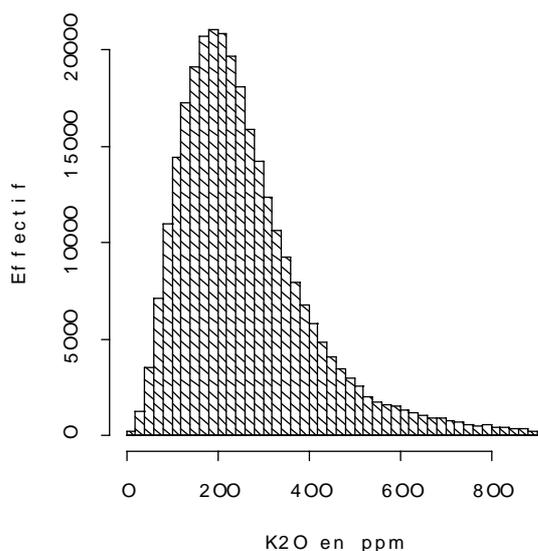


Figure 13.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

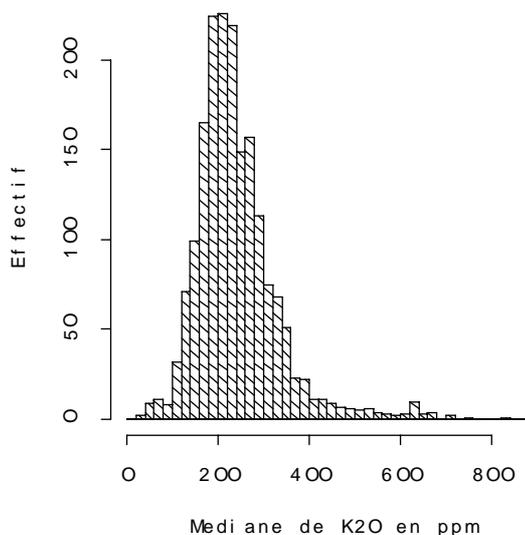


Figure 13.b : Histogramme des médianes cantonales

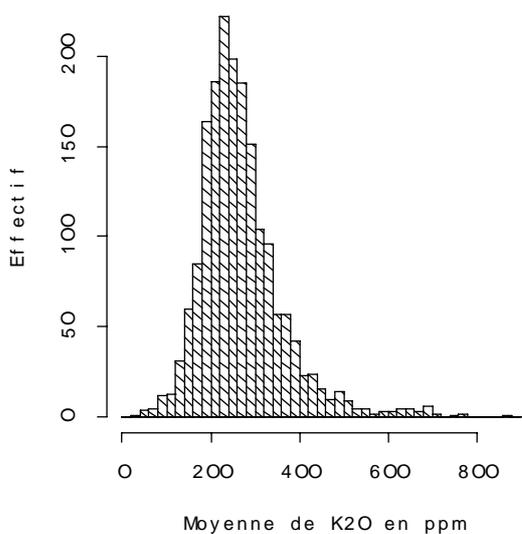


Figure 13.c : Histogramme des moyennes cantonales

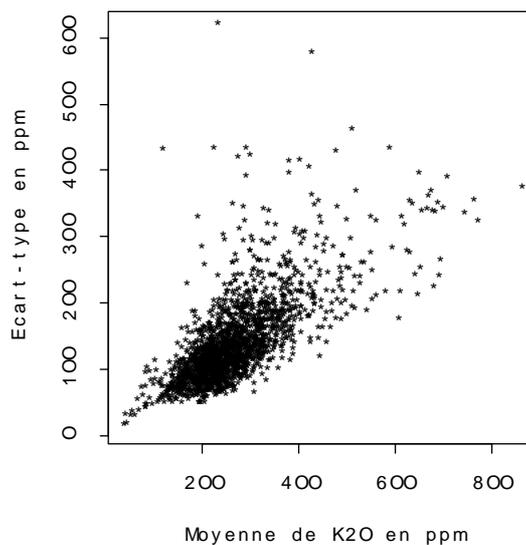


Figure 13.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 13 : Distributions des teneurs en potassium échangeable

### 1.3. Interprétation agronomique

Elle est réalisée suivant les normes de l'INRA (abaques en annexe 3), simplifiées comme nous l'avons vu précédemment, afin de définir des niveaux de richesse des sols en phosphore extractible : niveau faible, correct ou élevé (carte 17). La variabilité intra-cantonale est représentée au moyen de la représentativité de la classe dominante par rapport à l'ensemble de la population cantonale.

On met en évidence que le niveau de richesse en phosphore extractible des sols cultivés français est dans l'ensemble assez faible à correct, mis à part dans le Nord, où il est relativement élevé.

La Bretagne, le sud de l'Aquitaine et les Charentes disposent de teneurs fortes. Par contre, la Bourgogne, le Limousin, les Ardennes et la vallée de la Garonne sont pauvres en phosphore.

La représentativité de la classe dominante n'est que rarement supérieure à 70 %, excepté dans le Nord.

#### *Conclusion*

*La variabilité des teneurs en phosphore extractible présente une double caractéristique :*

- *l'existence de différences fortes d'une région à l'autre, selon les milieux et les systèmes de production ;*
- *dans les zones à teneurs moyennes élevées, une variabilité intra-cantonale très importante faisant qu'un quart des terres ont un niveau faible, tandis qu'un autre quart présente des teneurs très élevées.*

## 2. LE POTASSIUM ECHANGEABLE

La population totale (289 000 déterminations effectuées) présente une distribution lognormale, comprise entre 1 et 7 400 mg/kg, avec un mode d'environ 200 mg/kg (figure 13a) et une médiane de 233 mg/kg.

Les distributions des moyennes et médianes cantonales sont similaires, avec un mode de 220 mg/kg, une médiane de 277 mg/kg, et contrairement au phosphore, des valeurs maximales du même ordre que celles de la population totale (figures 13b et 13c).

La relation entre la moyenne cantonale et l'écart-type est croissante, mais la variabilité intra-cantonale augmente nettement dès que les teneurs moyennes atteignent 250 mg/kg (figure 13d).

Les cartes des médianes et quartiles cantonaux (carte 18) mettent en évidence des diversités régionales marquées :

- une zone à teneurs faibles, la Gironde et les Landes, avec des valeurs médianes, et même des quartiles supérieurs, inférieurs à 100 mg/kg ;
- des zones à teneurs médianes assez importantes et des quartiles supérieurs très élevés : la Bretagne, le Nord ; les quartiles inférieurs dépassent toujours 150 mg/kg ;
- des zones à teneurs médianes très élevées et à dispersion intra-cantonale faible : l'est du Bassin parisien et les Charentes ;
- une zone à teneurs médianes élevées et à dispersion forte, le Centre.

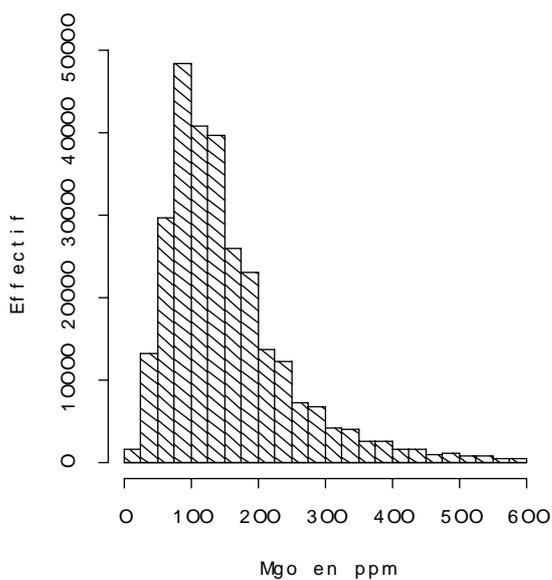


Figure 14.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

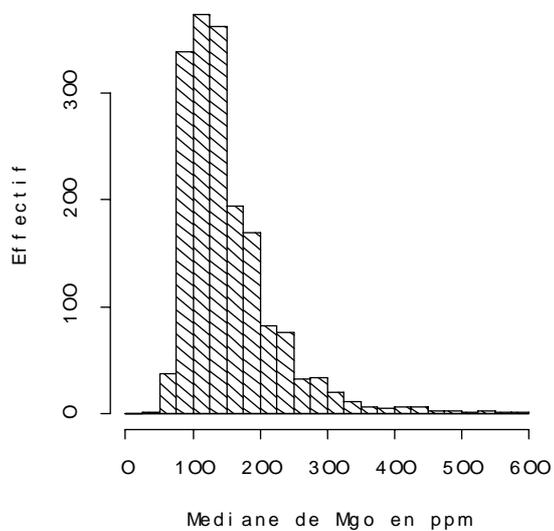


Figure 14.b : Histogramme des médianes cantonales

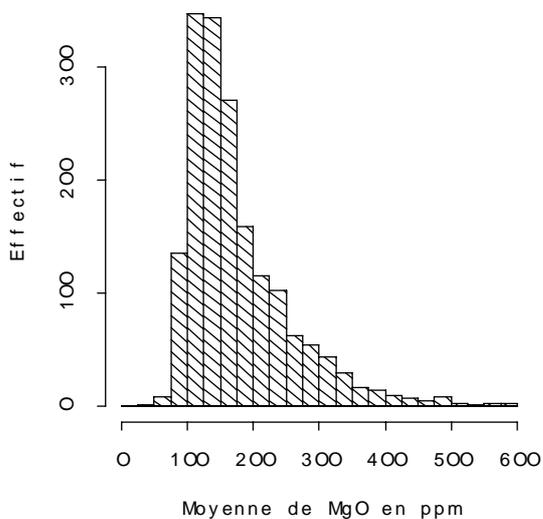


Figure 14.c : Histogramme des moyennes cantonales

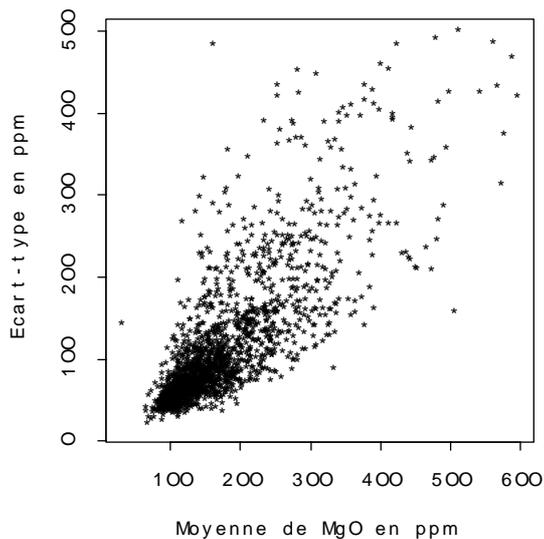


Figure 14.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 14 : Distributions des teneurs en magnésium échangeable

En termes d'interprétation agronomique (carte 19), la grande majorité des sols cultivés présente un niveau de richesse correct. On distingue cependant :

- des zones pauvres en potassium échangeable, notamment le sud de l'Aquitaine ;
- une zone riche, les Charentes.

La représentativité de la classe dominante dépasse 70 % dans une zone nord et dans le sud de l'Aquitaine. Ailleurs, elle est souvent inférieure à 60 %.

### 3. LE MAGNESIUM ECHANGEABLE

La distribution de la population totale (285 000 déterminations effectuées) est lognormale, variant de 1 à 9 700 mg/kg, avec un mode légèrement inférieur à 100 mg/kg (figure 14a) et une médiane de 132 mg/kg.

Les médianes et moyennes cantonales suivent des distributions similaires (figures 14b et 14c) et présentent une étendue du même ordre que la population totale.

Les cartes des médianes et quartiles (carte 20) mettent en évidence plusieurs phénomènes :

- la dispersion est importante, puisque les quartiles supérieurs dépassent souvent 150 mg/kg et les quartiles inférieurs sont majoritairement en-dessous de 100 mg/kg (excepté dans la vallée de la Garonne) ;
- on trouve peu de zones où les teneurs médianes dépassent 200 mg/kg : la vallée de la Garonne et l'Alsace ;
- l'Aquitaine, le Limousin et une grande partie Nord présentent des teneurs médianes inférieures à 100 mg/kg, les quartiles supérieurs n'atteignant que 100 à 150 mg/kg.

L'interprétation agronomique (carte 21) montre que les sols cultivés français présentent dans l'ensemble des niveaux de richesse corrects à élevés en magnésium échangeable.

La région lyonnaise, les Charentes et la vallée de la Garonne en sont particulièrement riches.

La classe dominante représente plus de 80 % des résultats dans le Pas-de-Calais, la Somme et la vallée de la Garonne. Elle est dans l'ensemble supérieure à 50 %.

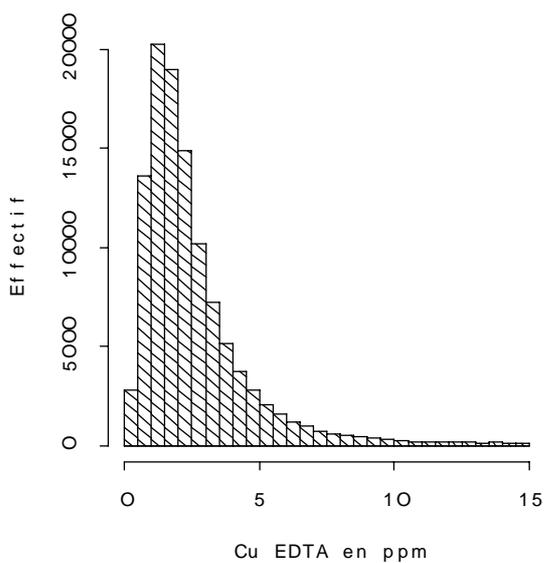


Figure 15.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

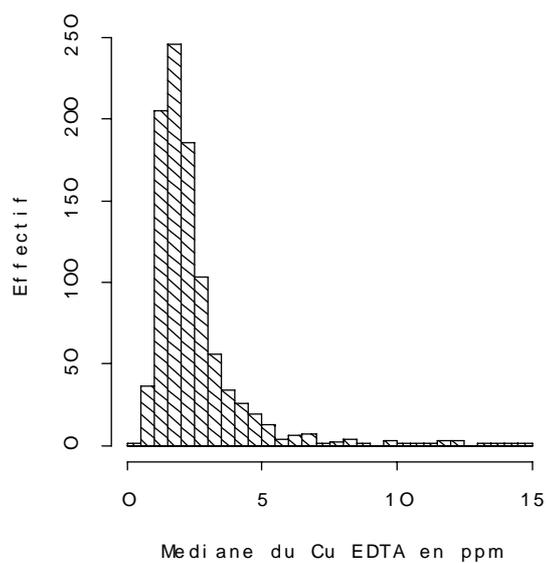


Figure 15.b : Histogramme des médianes cantonales

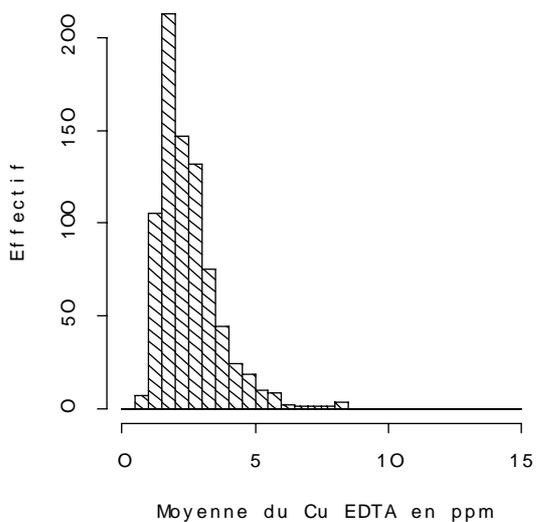


Figure 15.c : Histogramme des moyennes cantonales

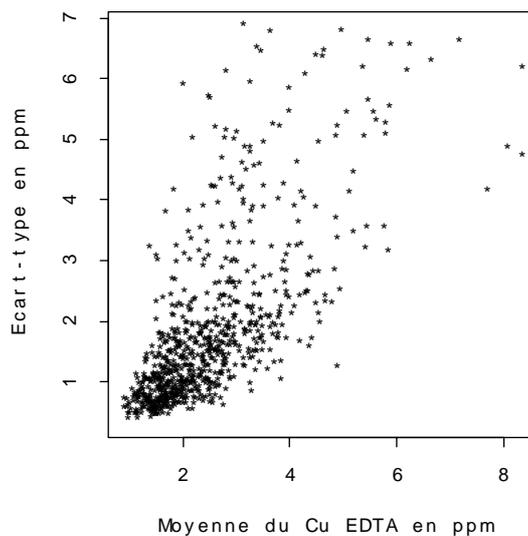


Figure 15.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 15 : Distributions des teneurs en cuivre EDTA

#### 4. LES OLIGO-ELEMENTS

##### 4.1. Le cuivre EDTA

106 000 déterminations du cuivre à l'EDTA sont disponibles (figure 15).

Les teneurs varient dans la population totale entre 0 et 15 mg/kg (exceptés des valeurs isolées très élevées) avec une valeur médiane de 2,1 ppm.

Les médianes cantonales sont en grande majorité inférieure à 2 mg/kg (carte 22). Elles sont plus élevées dans des régions spécifiques (zone de vignobles) dans lesquelles une proportion importante de parcelles présente des teneurs élevées supérieures à 8 ppm.

##### 4.2. Le manganèse EDTA

Les teneurs en manganèse extractible à l'EDTA ont été déterminées pour 90 000 échantillons (figure 16).

Les teneurs varient de 3 à 150 mg/kg dans l'ensemble de la population avec une médiane de 16 ppm.

Les teneurs médianes cantonales sont en majorité comprises entre 20 et 60 mg/kg (carte 23) : elles sont plus faibles dans le Massif armoricain et les Landes (pH acide), mais également en Champagne et Charentes (pH>8).

##### 4.3 Le zinc EDTA

Les teneurs en zinc extractible à l'EDTA ont été déterminées pour 79 000 échantillons (figure 17).

Les teneurs varient de 1 à 15 mg/kg (exceptées des valeurs isolées très élevées) avec une médiane de 2,2 ppm.

Les teneurs médianes cantonales sont en grande majorité comprises entre 1 et 4 mg/kg (carte 24). Des valeurs localement fortes sont observées dans le Nord et de façon plus isolées ailleurs.

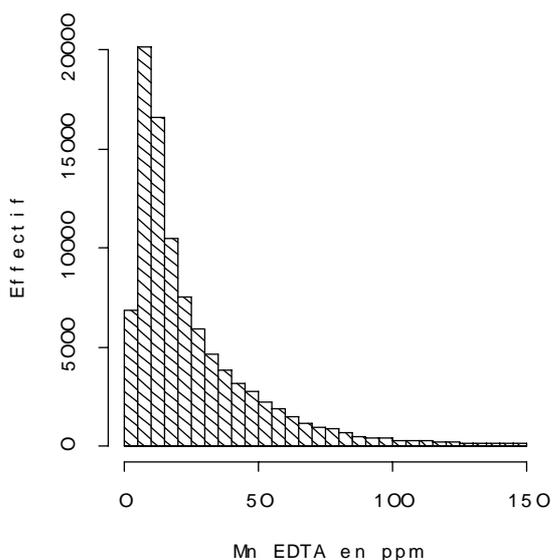


Figure 16.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

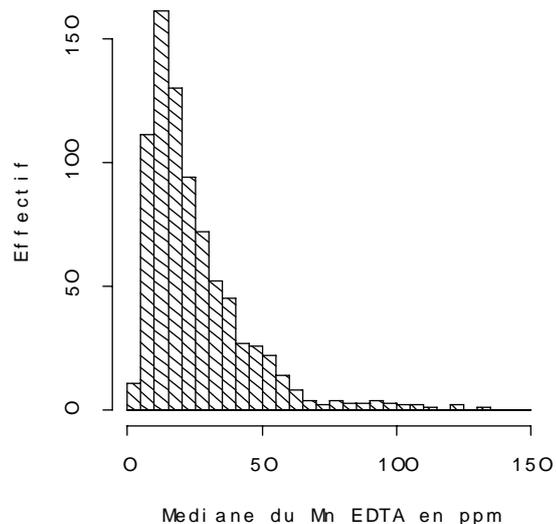


Figure 16.b : Histogramme des médianes cantonales

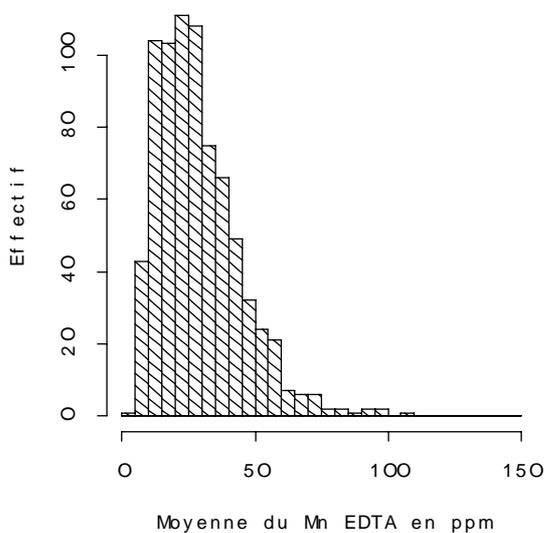


Figure 16.c : Histogramme des moyennes cantonales

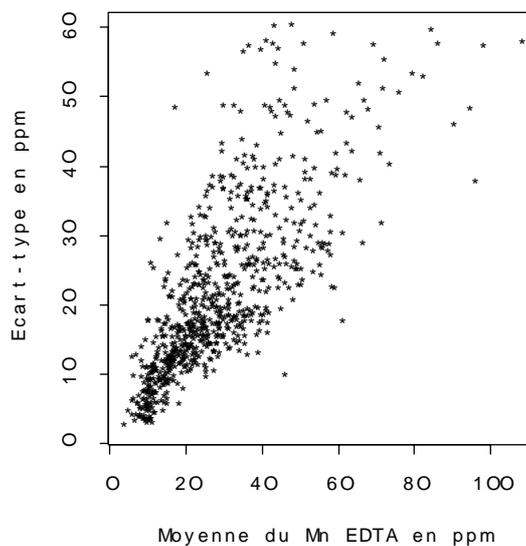


Figure 16.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 16 : Distributions des teneurs en manganèse EDTA

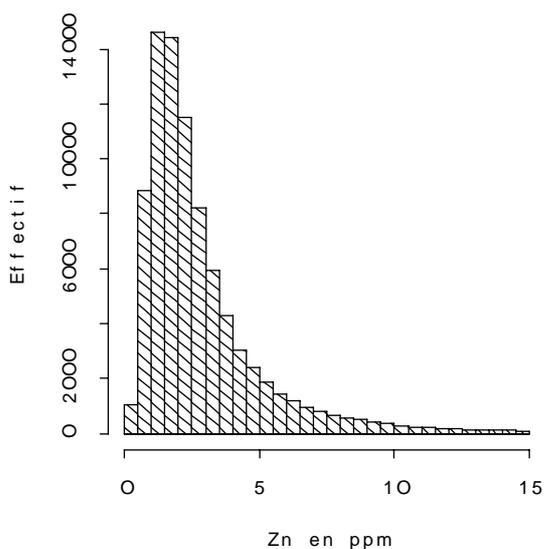


Figure 17.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

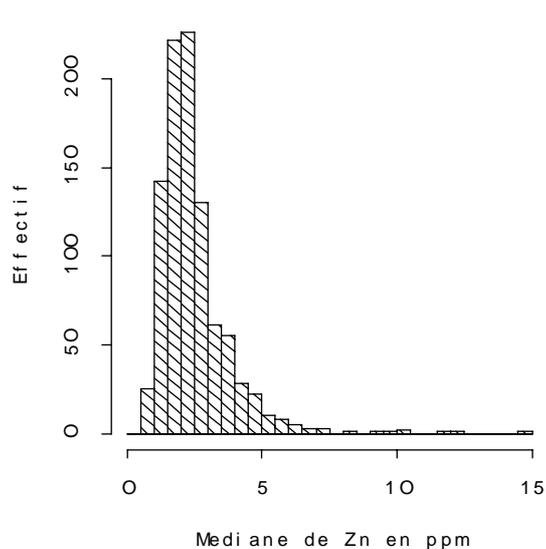


Figure 17.b : Histogramme des médianes cantonales

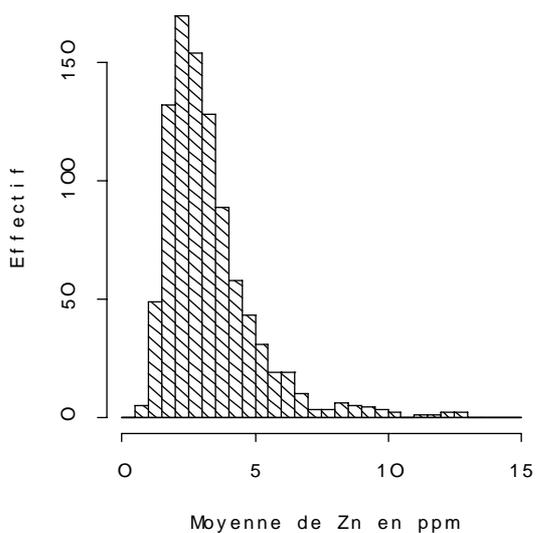


Figure 17.c : Histogramme des moyennes cantonales

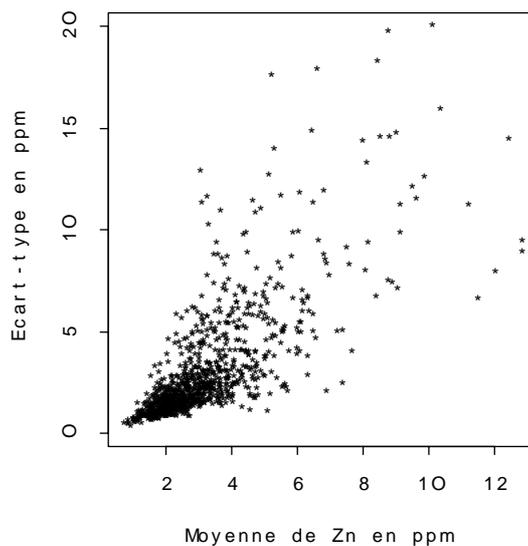


Figure 17.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 17 : Distributions des teneurs en zinc EDTA

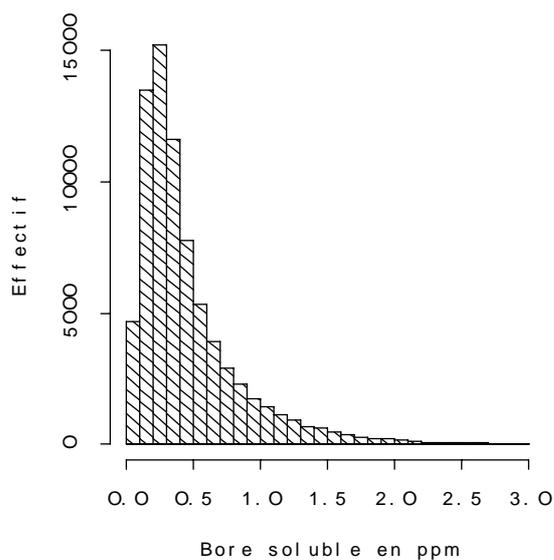


Figure 18.a : Histogramme de l'ensemble des analyses

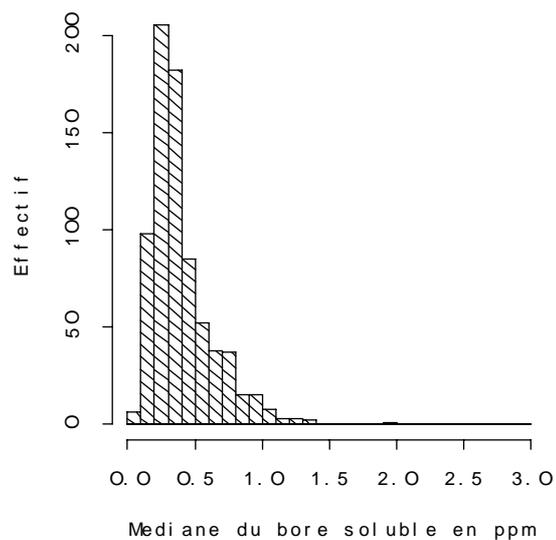


Figure 18.b : Histogramme des médianes cantonales

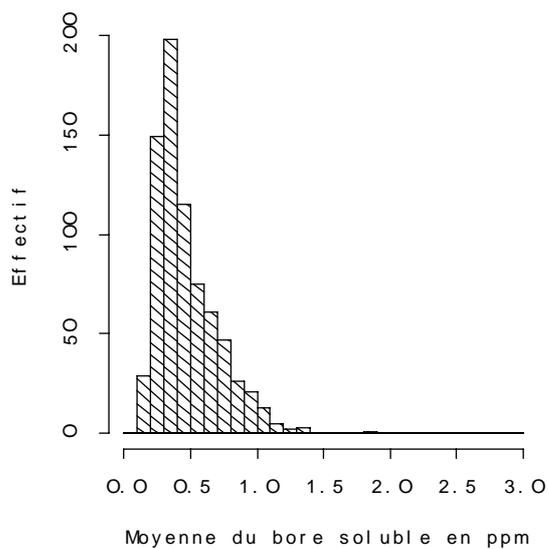


Figure 18.c : Histogramme des moyennes cantonales

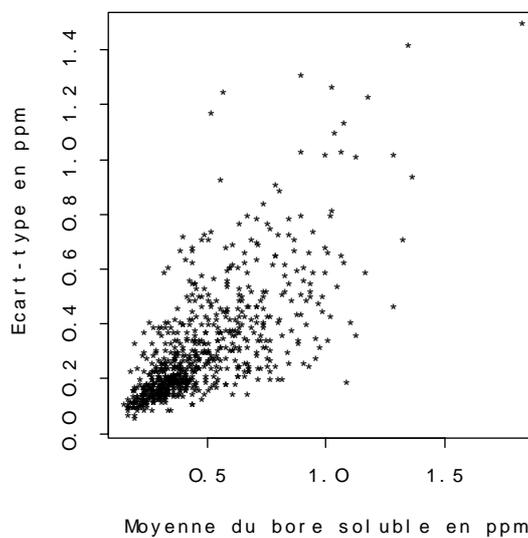


Figure 18.d : Représentation de l'écart-type cantonal en fonction de la moyenne cantonale

Figure 18 : Distributions des teneurs en bore soluble

#### **4.4 Le bore soluble**

Les teneurs en bore soluble à l'eau chaude sont disponibles pour 72 000 échantillons (figure 18).

Les teneurs varient de 0,1 à 3 mg/kg avec une médiane de 0,3 ppm.

Les teneurs médianes cantonales sont en majorité comprises entre 0,25 et 1 mg/kg (carte 25). Néanmoins dans de nombreuses régions, une partie importante des parcelles semblent avoir des teneurs inférieures à 0,25 mg/kg (carte du quartile inférieur), en particulier en Bourgogne, dans la Somme...

## CONCLUSION

L'objectif de ce travail était d'étudier à l'échelle nationale la variabilité spatiale de différentes propriétés physiques et chimiques des sols cultivés, en faisant la synthèse des analyses de terre réalisées en France entre 1990 et 1994.

Lors de cette synthèse, nous nous sommes heurtés à quelques difficultés. En premier lieu, l'accord des laboratoires a souvent été difficile à obtenir, surtout pour une raison de déontologie non réglée au départ de l'étude : quel est le statut d'une base de données construite à partir d'analyses payées par des utilisateurs, récoltées auprès de laboratoires et traitées à la demande du Ministère ? Il faudra apporter une réponse à cette question avant de renouveler la démarche. Le deuxième type de difficulté est lié à l'hétérogénéité très grande des formats d'archivage des analyses de terre au sein des laboratoires. Cette hétérogénéité induit des procédures, longues et pouvant générer une certaine perte d'information, de mise en forme de l'information. La définition d'un format d'échange standard semble indispensable pour pérenniser ce type de synthèse nationale.

Les résultats de l'étude résident dans une description statistique d'une base de données incluant près de 300 000 échantillons. Il s'agit d'échantillons composites prélevés entre 1990 et 1994, à la demande d'agriculteurs, au sein de parcelles dont on connaît la commune d'origine, et analysés par des laboratoires agréés. L'échantillonnage n'étant pas maîtrisé dans ce type d'approche, il existe des risques de biais liés à des sur- ou sous- échantillonnages de certains types de parcelles. Ces risques conduisent à préconiser une lecture globale des cartes obtenues, en privilégiant les grandes tendances et en portant un regard critique sur des situations isolées.

Les cartes cantonales, établies pour une dizaine de propriétés du sol, montrent l'existence de grandes tendances régionales qui, si elles étaient souvent connues, sont pour la première fois mises en évidence par des approches quantitatives. Par ailleurs, ces cartes permettent également d'analyser la variabilité intra-cantonale dont l'importance est révélatrice du milieu et de la propriété étudiés.

Ainsi, l'approche privilégiée dans cette étude a été une approche descriptive, variable par variable. Nous soumettons à la communauté scientifique une première synthèse des résultats obtenus, pour recueillir auprès des experts régionaux des avis critiques sur les structures spatiales mises en évidence.

Une étude plus approfondie du jeu d'étude actuel peut ensuite être entreprise. Il s'agit par exemple d'étudier les corrélations entre variables. Il faut également confronter les données avec des cartes géologiques, pédologiques ou des systèmes d'exploitation agricole, pour étudier de façon plus fine l'origine des variations mises en évidence dans les cartes statistiques. Ce croisement peut servir à une meilleure connaissance des déterminants de la variabilité spatiale des propriétés du sol.

Il semble enfin important d'assurer une mise à jour régulière d'une base de données des analyses de terre. Un premier objectif peut être d'atteindre une couverture nationale complète pour avoir une vision exhaustive de la variabilité des sols. Mais l'objectif principal doit être de participer à un suivi dans le temps des sols de France. Ces sols ont en effet subi ces dernières décennies des évolutions importantes (matière organique, pH, éléments chimiques) dues à l'intensification des systèmes de production. Ils continuent actuellement d'évoluer sous l'effet des changements de pratiques, cela en l'absence d'un dispositif de surveillance efficace.

Des approches par enquêtes, comme celle entreprise ici, sont les seules à permettre une vision spatialisée de l'évolution des sols à l'échelle nationale. Si elles ne remplacent pas des approches expérimentales, elles peuvent fortement guider celles-ci en indiquant les principales tendances évolutives. Ainsi, il semble important de s'attacher à une standardisation et à une systématisation des échanges d'analyses de terre pour créer une base de données nationale permettant une réelle "surveillance des sols".

## **Bibliographie associée au travail**

- AFNOR 1996 - Qualité des sols. Méthodes d'analyses. Recueil de normes françaises, 3<sup>e</sup> édition, 534 p.
- Aurousseau P., Dupont C., Joubert A., Walter C., 1996 - Les sols d'Ille-et-Vilaine. *Publication du Conseil Général d'Ille-et-Vilaine, LDAA 35, Ch. d'Agriculture 35, ENSA Rennes, 46 p.*
- Baize D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie. *INRA Editions, Paris, 172 p.*
- Bellivier D., Falque M.C., Pinault N. et Favrot J.C., 1995 - REFERSOLS : REpertoire pour la France d'Etudes pédologiques avec cartographie des SOLS. *Programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols, 91 p., annexes et 1 carte*
- Boiffin J., Villemin P., 1990 - Evolution de la fertilité des sols de l'Aisne. Synthèse de 15000 analyses de sols. *Document Station Agronomique de l'Aisne, SCPA, 12 p.*
- Bornand M., Girard M.C., King D., Martin S. et Robert M., 1996 - Besoins en données sur les sols en liaison avec les problèmes d'agriculture et d'environnement. *3<sup>èmes</sup> journées nationales de l'étude des sols, AFES. Comm. orale. Rennes 22-25 avril 1996.*
- Bornand, 1997 – Connaissance et suivi de la qualité des sols en France. Etat des lieux. Enjeux. Besoins en données. Propositions pour une gestion raisonnée de la ressource en sol. *Rapport d'expertise Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'Environnement, INRA, 176 p.*
- Chambre d'agriculture 72, 1991 - Les sols sarthois : richesse, pauvreté, carences. *L'agriculture sarthoise, 9 mars 1991, 12-13.*
- Christofini B., Roybin D., Etaix P., 1994 - Caractériser le développement régional, est-ce parler de sa qualité ? Une typologie des 128 cantons des Alpes du Nord. *Etudes et recherches vol 28 Systèmes Agraires et Qualité, pp. 293-318*
- Danneels V., Schwartz C., 1993 - Etude méthodologique sur l'exploitation d'une banque de données régionales d'analyses de terre. Application à la région Nord-Pas de Calais. *Ministère de l'Agriculture et la Pêche - DERF, 31 p.*
- Decroux J., 1990 - Etude sur le statut du phosphore des sols de France. *Convention IMPHOS/GEMAS. Document GEMAS, 92 p.*
- Dersigny Ch., 1988 - Collection, organisation et mise à disposition de données agro-pédologiques au sein d'un référentiel pour l'Ille et Vilaine. *DAA ENSAR, 54 p.*
- Favrot J.C., 1989 - Une stratégie d'inventaire cartographique à grande échelle : la méthode des secteurs de référence. *Science du Sol, 27 (4), 351-368.*
- IGCS, 1991 - Cahier des clauses techniques générales pour la réalisation des référentiels régionaux pédologiques (1/250 000). *Document Ministère de l'Agriculture - DERF et DGER, INRA 12 p.*
- INRA, 1996 - Le sol, un patrimoine menacé ? *Forum organisé dans le cadre du cinquantième anniversaire de l'INRA, Paris 24 octobre 1996*

- ITCF, 1987 - Méthode d'échantillonnage sur des grandes parcelles pour une analyse physico-chimique, in Catalogue de fiches sur des méthodes d'échantillonnage, Service des Etudes Statistiques, 4 p.
- Jamagne M., Hardy R., King D. et Bornand M., 1995 - La base de données géographique des sols de France. *Etude et Gestion des Sols* 2,3, 153-172.
- King D., Burill A., Daroussin J., Le Bas C., Tavernier R., Van Ranst E., 1995 - The EU soil geographic database. In *European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring* (Eds King, Jones and Thomasson). JRC European Commission. ISPRA, 71-84.
- Laupretre J.M., 1990 - Etude sur le statut du phosphore dans quelques terres agricoles françaises. *Convention IMPHOS/GEMAS. Document ISA Lille, CEEA, LDAA Combourg, Europe Sols, SAS, SICARADO, ENSAIA, 2 tomes, 119 + 92 p.*
- Legros J.P., 1978 - Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des unités de sols. *Ann. Agron.* 29(6), 583-601.
- Legros J.P., 1996 - Cartographie des Sols. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Collection Gérer l'Environnement.* 321 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.*
- Leprêtre A. et Martin S., 1994 - Sampling strategy of soil quality. *Analysis Magazine V.22 n°3*, pp. 40-43
- Lindeman, 1986 - Contribution à l'étude statistique des répartitions et à la modélisation de la dynamique de l'azote nitrique dans le sol. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 310 p.*
- ONF, 1996 - Notice de présentation du Réseau National de suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers, *document Office National des Forêts* 38 p.
- Pleijzier L.K., 1988 - Variability in soil data. in Bouma J. and Bregt A.K. (Eds) *Land qualities in space and time. Proceedings of a symposium organized by the ISSS, 26-28/8/1988, Pudoc Wageningen, 353 p.*
- Remy J.C., Marin-Lafliche A., 1974 - L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. *Annales agronomiques INRA, 25(4), 607-632.*
- S.C.P.A. (1993) - Etat de fertilité des sols de Meurthe et Moselle. Synthèse de 8400 analyses de terre. *Fiches IPAS. Publication SCPA, Chambre d'Agriculture de Meurthe-et-Moselle, Coopérative agricole de Lorraine, 34 p.*
- Schwartz C. et Douay F., 1992 - Etablissement d'une clé de détermination des types de sols (exemple de la Flandre intérieure). *3èmes journées nationales de l'étude des sols, AFES. Comm. orale. Lausanne 8-10 septembre 1992.*
- Schwartz C., Six P., Février D., Grenier G., 1988 - ABC des sols du département du Nord. *Document ISA Lille, Chambre Régionale d'Agriculture Nord Pas de Calais, 32 p.*
- Schwartz C., Walter Ch., Claudot B., Arousseau P. et Bouédo T., 1995 - Synthèse nationale des analyses de terre. *Document AFES - DERF* 49 p, 4 annexes, 21 cartes

- Schwartz C., Walter C., Claudot B., Bouedo T., Arousseau P., - 1997 - Synthèse nationale des analyses de terre. I. Constitution d'une banque de données cantonale. *Etude et Gestion des Sols*, vol. 4 (3), 191-204
- Schwartz C., Walter C., Daroussin J., King D., - 1998 - Synthèse des analyses de terres faites en France et croisement avec la carte pédologique au 1/1.000.000. *Actes du 16<sup>ème</sup> Congrès Mondial de Science du Sol, Symposium 17*, 7 p.
- Van Ranst E., Vanmechelen L., Thomasson A.J., Daroussin J., Hollis J.M., Jones R.J.A, Jamagne M. et King D., 1995 - Elaboration of an extended knowledge database to interpret the EC 1 : 1M Soil Map for environmental purposes. In *European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring* (Eds King, Jones and Thomasson). JRC European Commission. ISPRA, 71-84.
- Vandendriessche H., Hendrickx G., Bries J., 1993 - Soil fertility and adjusted fertilizer recommendations for arable land and grassland in Belgium : a review for the period 1989- 1991. *Bull. Rech. Agron. Gembloux*, 28 (2-3), 377-391.
- Villemin P., Florentin A., 1988 - Quelques caractéristiques potassiques des sols du plateau lorrain sud. *Dossiers Agr. d'Aspach*, 3, 5-15.
- Walter C., 1990 - Estimation de propriétés du sol et quantification de leur variabilité à moyenne échelle. *Thèse Univ. Paris VI, ENSA-INRA Rennes, n° SDS 436*, 172 p.
- Walter C., Bouedo T., Arousseau P., 1995 - Cartographie communale des teneurs en matière organique des sols bretons et analyse de leur évolution temporelle de 1980 à 1995. *Rapport final. Conseil Régional de Bretagne - Agence Loire-Bretagne*, 31 p.
- Walter C., Schwartz C., Claudot B., Bouedo T., Arousseau P., 1997 - Synthèse nationale des analyses de terre. II. Constitution d'une banque de données cantonale. *Etude et Gestion des Sols*, vol. 3 (4), 205-219

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition des laboratoires selon le nombre d'analyses envoyées au cours des années d'étude et le nombre total d'analyses conservées. ....	11
Tableau 2 : Méthodes d'analyses utilisées en référence aux normes françaises (AFNOR, 1996).....	12
Tableau 3 : Identification géographique des analyses adoptée par les laboratoires.....	13
Tableau 4 : Nombre de résultats disponibles par détermination. ....	14
Tableau 6 : Comparaison de la variabilité intra-strate pour différents types de découpages (Commune, Canton, Petite Région Naturelle, Département) à la variabilité générale observée pour l'ensemble des échantillons.....	17
Tableau 7 : Répartition des principales données selon leur type. ....	18
Tableau 8 : Statistiques générales de différentes propriétés physiques de l'horizon de surface pour l'ensemble des échantillons et pour la stratification cantonale.....	25
Tableau 9 : Statistiques générales de différentes propriétés chimiques de l'horizon de surface pour l'ensemble des échantillons et pour la stratification cantonale.....	45

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Résultats disponibles par détermination et par an (exprimés en pourcentage du nombre d'analyses annuel). .....	14
Figure 2 : Répartition des cantons selon le nombre d'analyses disponibles.....	20
Figure 3 : Distribution des teneurs en argile .....	26
Figure 4 : Distributions des teneurs en limons totaux .....	28
Figure 5 : Distributions des teneurs en sables totaux.....	30
Figure 6 : Distributions des indices de battance .....	32
Figure 7 : Distributions des teneurs en carbone organique .....	34
Figure 8 : Distributions du pH eau .....	36
Figure 9 : Distributions des teneurs en calcaire total.....	38
Figure 10 : Distributions de la capacité d'échange cationique .....	40
Figure 11 : Distributions des teneurs en phosphore extractible Joret-Hébert.....	44
Figure 12 : Distributions des teneurs en phosphore extractible Dyer .....	46
Figure 13 : Distributions des teneurs en potassium échangeable .....	48
Figure 14 : Distributions des teneurs en magnésium échangeable.....	50
Figure 15 : Distributions des teneurs en cuivre EDTA .....	52
Figure 16 : Distributions des teneurs en manganèse EDTA .....	54
Figure 17 : Distributions des teneurs en zinc EDTA .....	55
Figure 18 : Distributions des teneurs en bore soluble.....	56

## LISTE DES CARTES

- Carte 1 Localisation des laboratoires contactés
- Carte 2 Localisation des laboratoires ayant fourni des données
- Carte 3 Communes urbaines éliminées de la banque finale
- Carte 4 Nombre d'échantillons par canton et résolution de l'échantillonnage
- Carte 5 Statistiques des teneurs en argile : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 6 Statistiques des teneurs en limons totaux : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 7 Statistiques du rapport limons fins/ limons grossiers : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 8 Statistiques des teneurs en sables totaux : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 9 Statistiques des classes de texture : classes dominante et secondaire, représentativité selon le triangle GEPPA (Baize, 1988)
- Carte 9 bis Statistiques des classes de texture : classes dominante et secondaire, représentativité selon le triangle GEPPA simplifié (Baize, 1988)
- Carte 10 Statistiques de l'indice de battance : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 11 Statistiques des teneurs en matière organique : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 12 Statistiques du pH : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 13 Statistiques des teneurs en calcaire total : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 14 Statistiques de la capacité d'échange cationique : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 15 Statistiques des teneurs en phosphore assimilable Joret-Hébert : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 16 Statistiques des teneurs en phosphore assimilable Dyer : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 17 Interprétation agronomique du phosphore échangeable : Classe modale et représentativité
- Carte 18 Statistiques des teneurs en potassium échangeable : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 19 Interprétation agronomique du potassium échangeable : Classe modale et représentativité
- Carte 20 Statistiques des teneurs en magnésium échangeable : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 21 Interprétation agronomique du magnésium échangeable : Classe modale et représentativité
- Carte 22 Statistiques des teneurs en cuivre EDTA : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 23 Statistiques des teneurs en manganèse EDTA : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations
- Carte 24 Statistiques des teneurs en zinc EDTA : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations

Carte 25 : Statistiques des teneurs en bore soluble : médianes, quartiles inférieurs et supérieurs, nombre de déterminations



**Carte 1 : Localisation des laboratoires contactés**



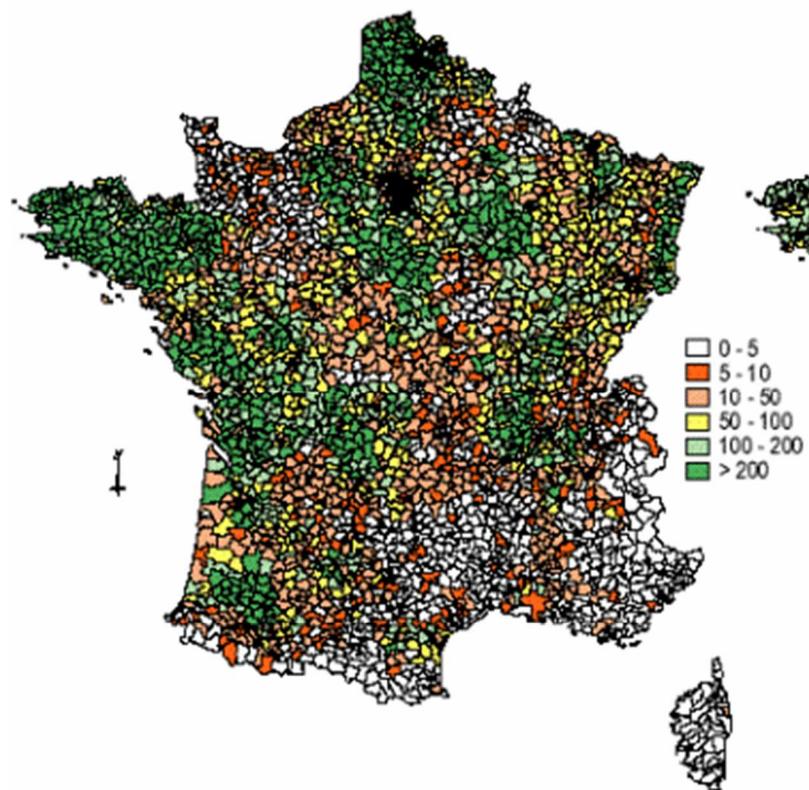
**Carte 2 : Localisation des laboratoires ayant fourni des données**



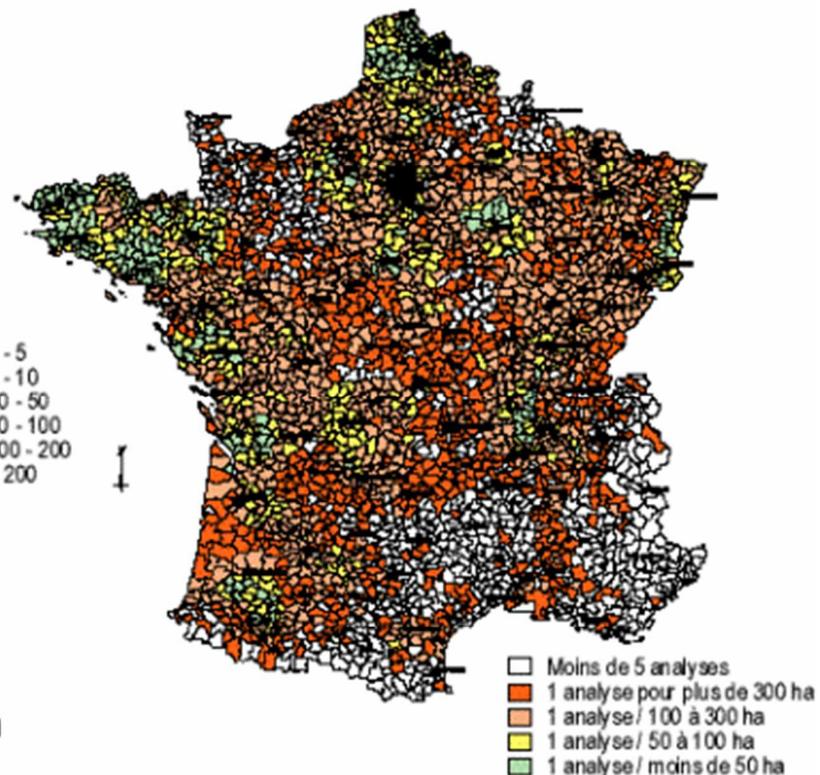
**Carte 3 : Communes urbaines éliminées de la banque finale**

**Cartes 1 à 3 : Localisation des laboratoires contactés, des laboratoires ayant fourni des données et des communes éliminées**

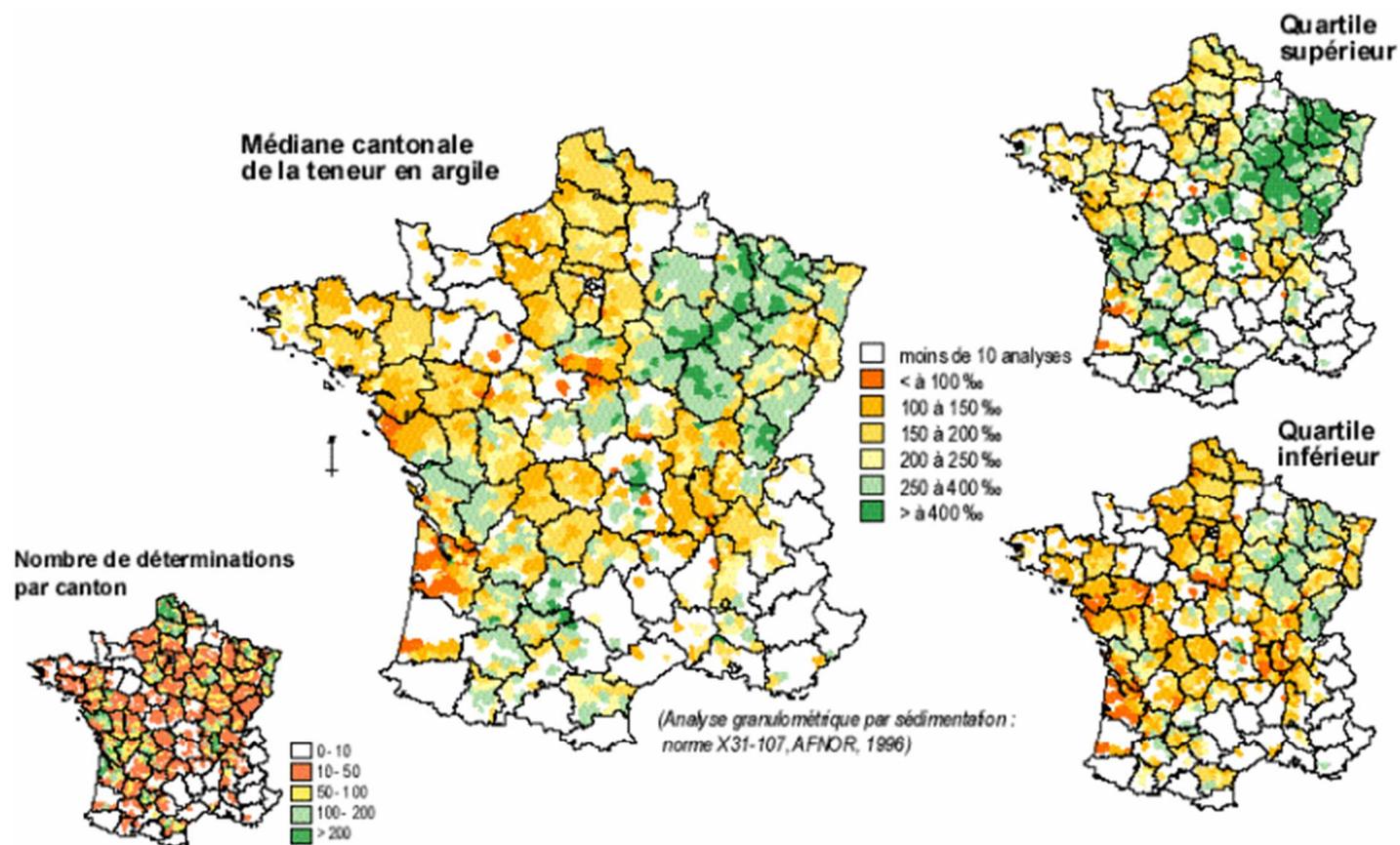
Nombre d'échantillons par canton



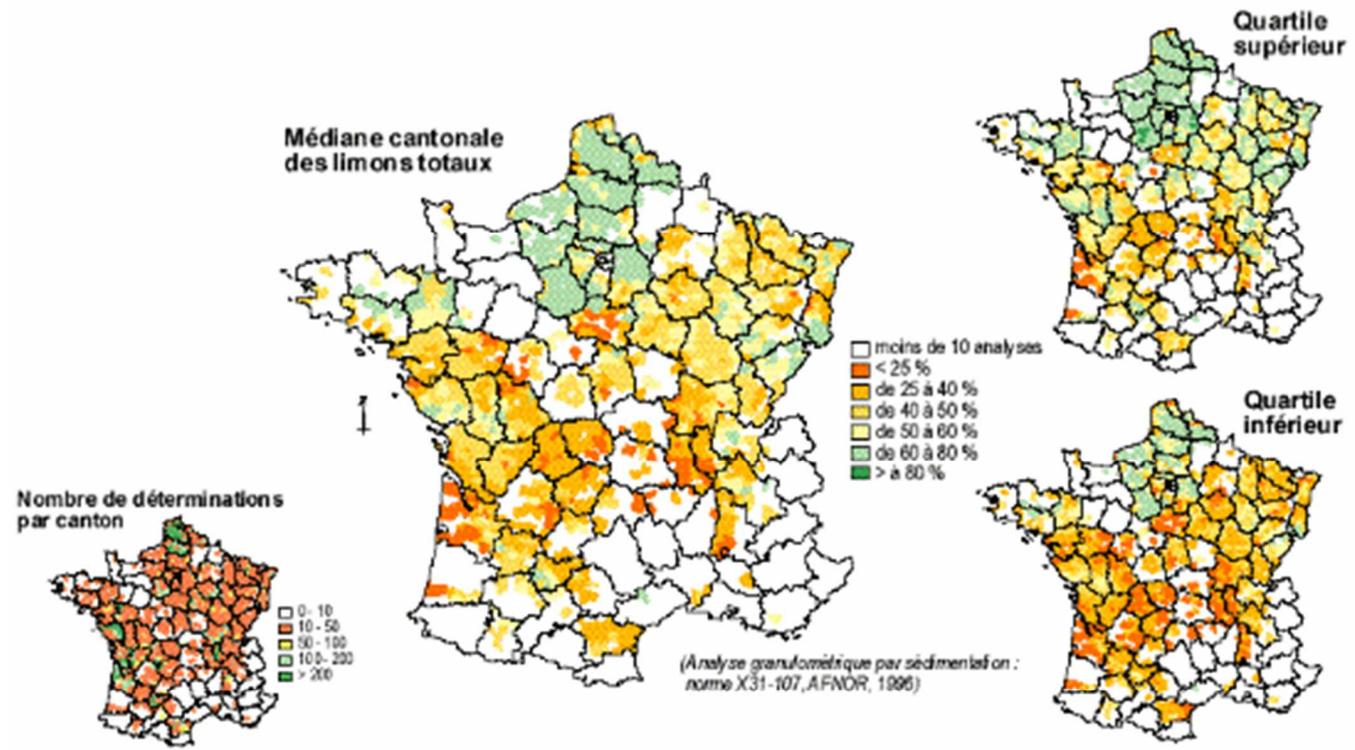
Résolution de l'échantillonnage :  
effectif/surface totale du canton



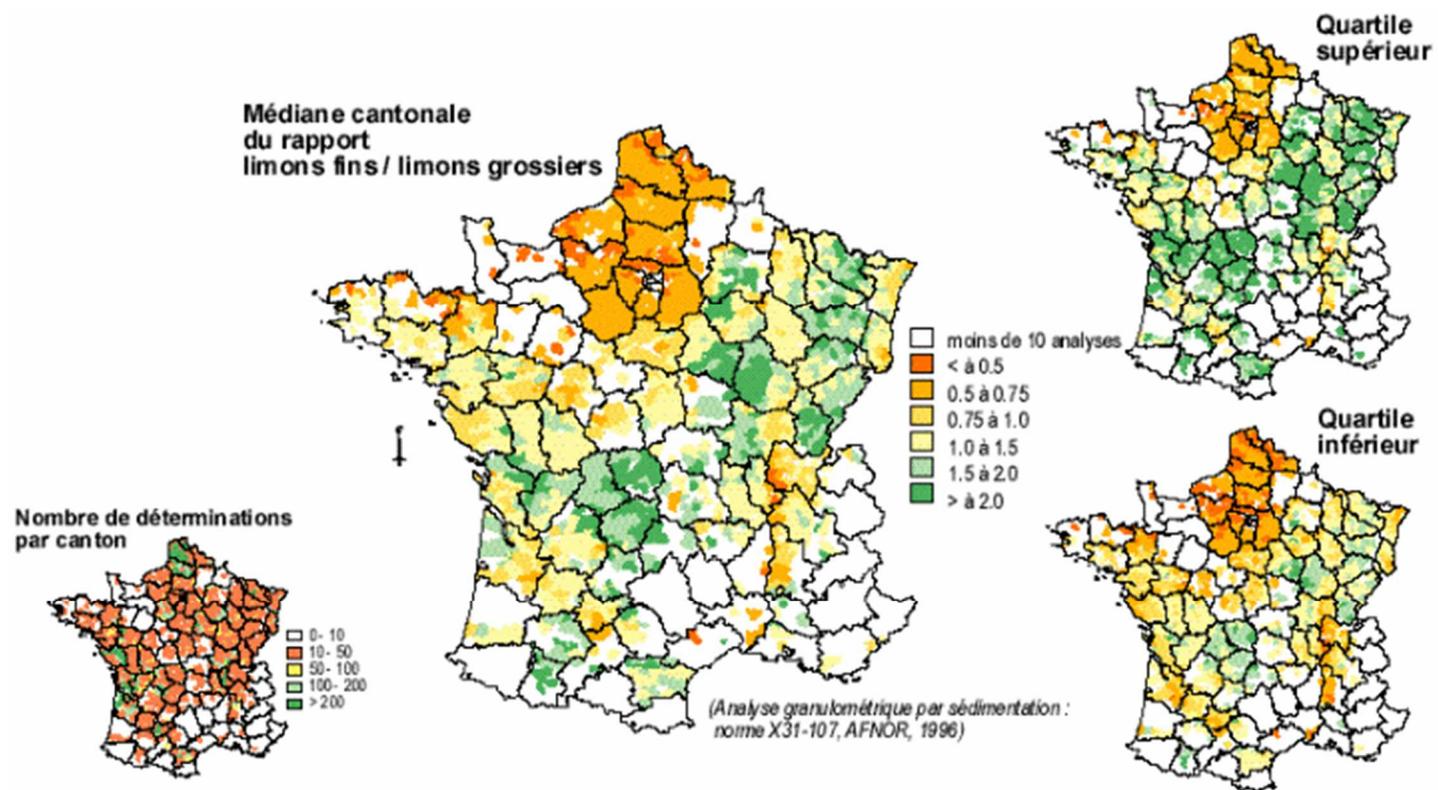
Carte 4 : Nombre d'échantillons par canton et résolution de l'échantillonnage



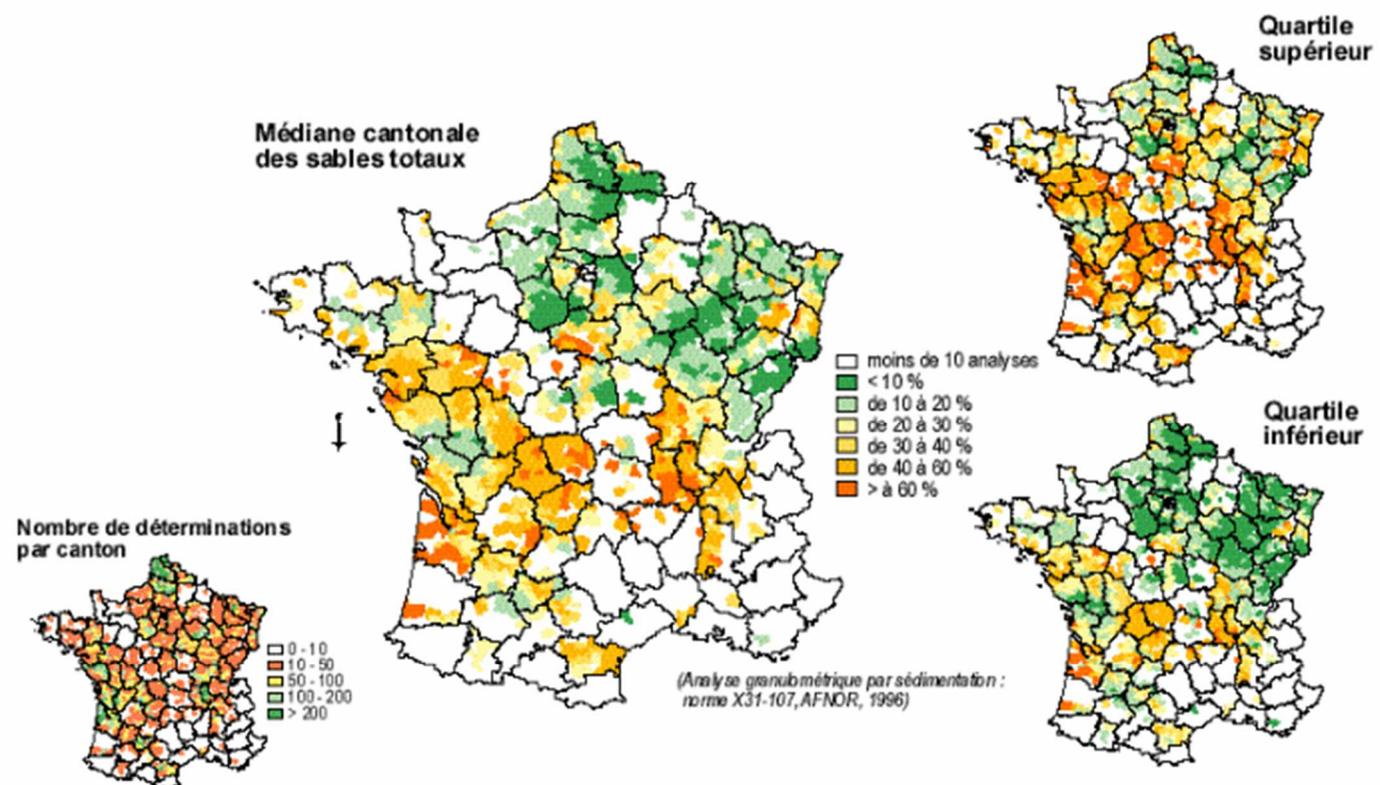
**Carte 5 - Statistiques cantonales de la teneur en argile des horizons de surface des sols cultivés : médianes, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



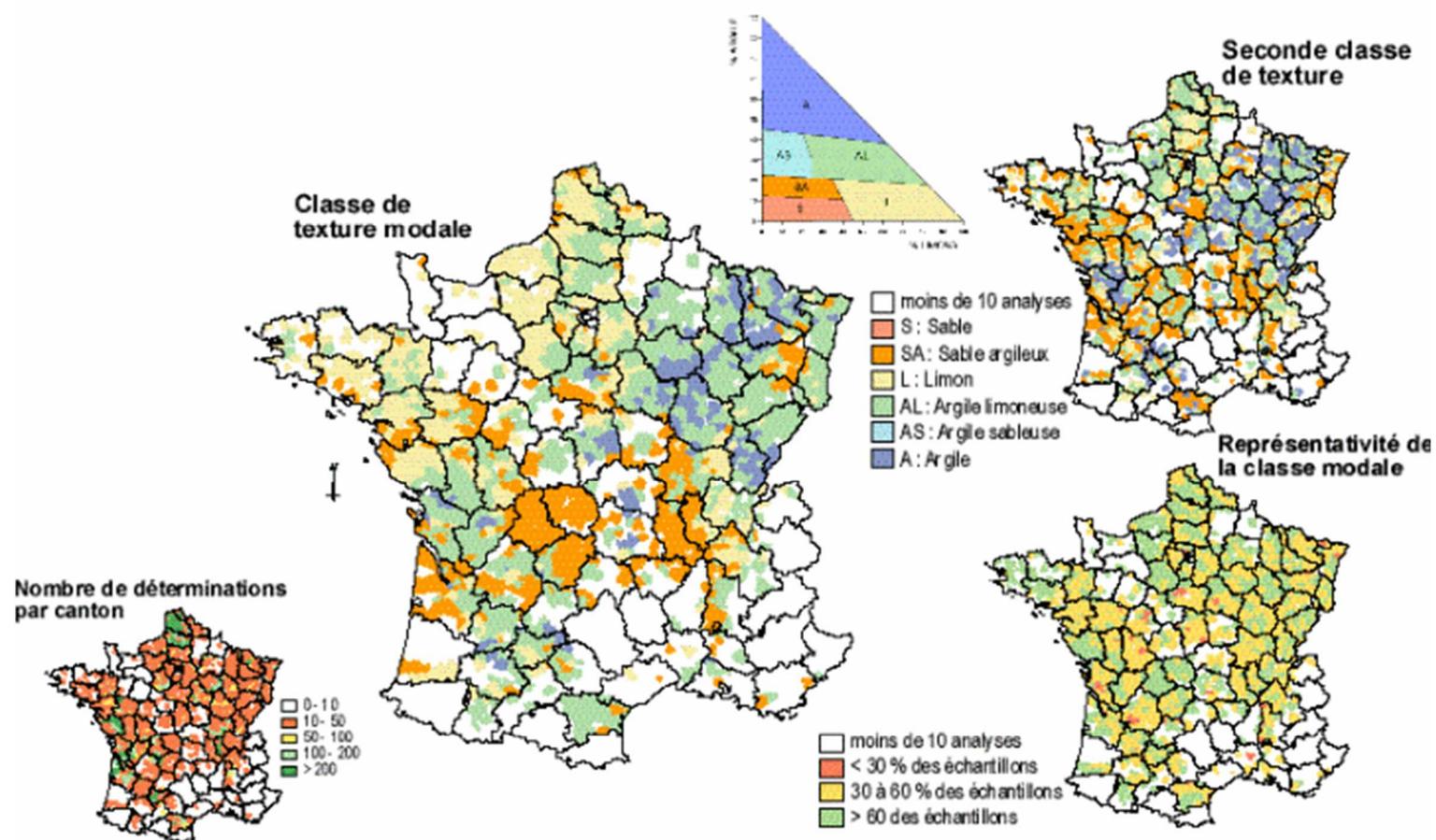
**Carte 6 - Statistiques cantonales de la teneur en limons totaux de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



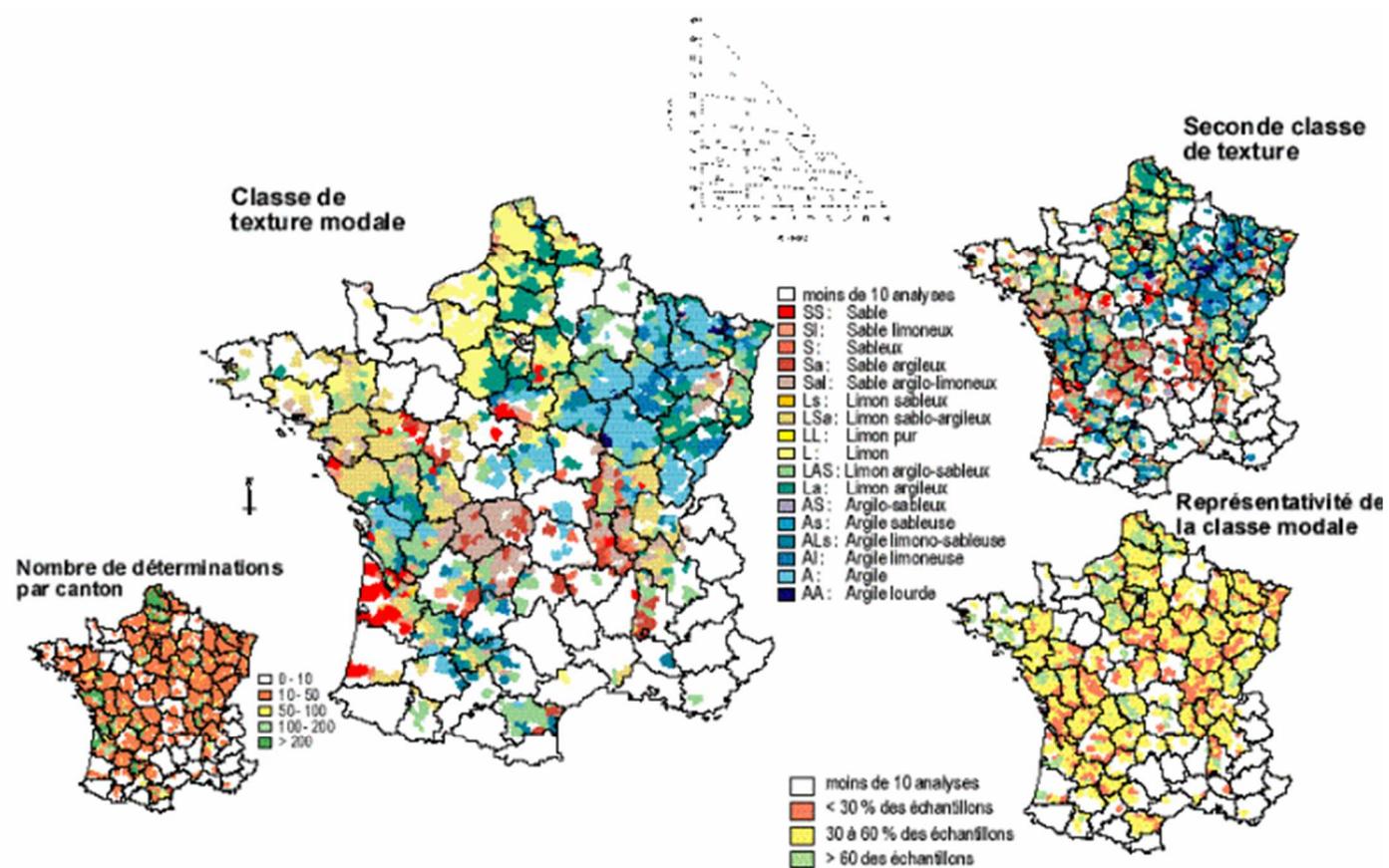
**Carte 7 - Statistiques cantonales du rapport limons fins sur limons grossiers de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations.**



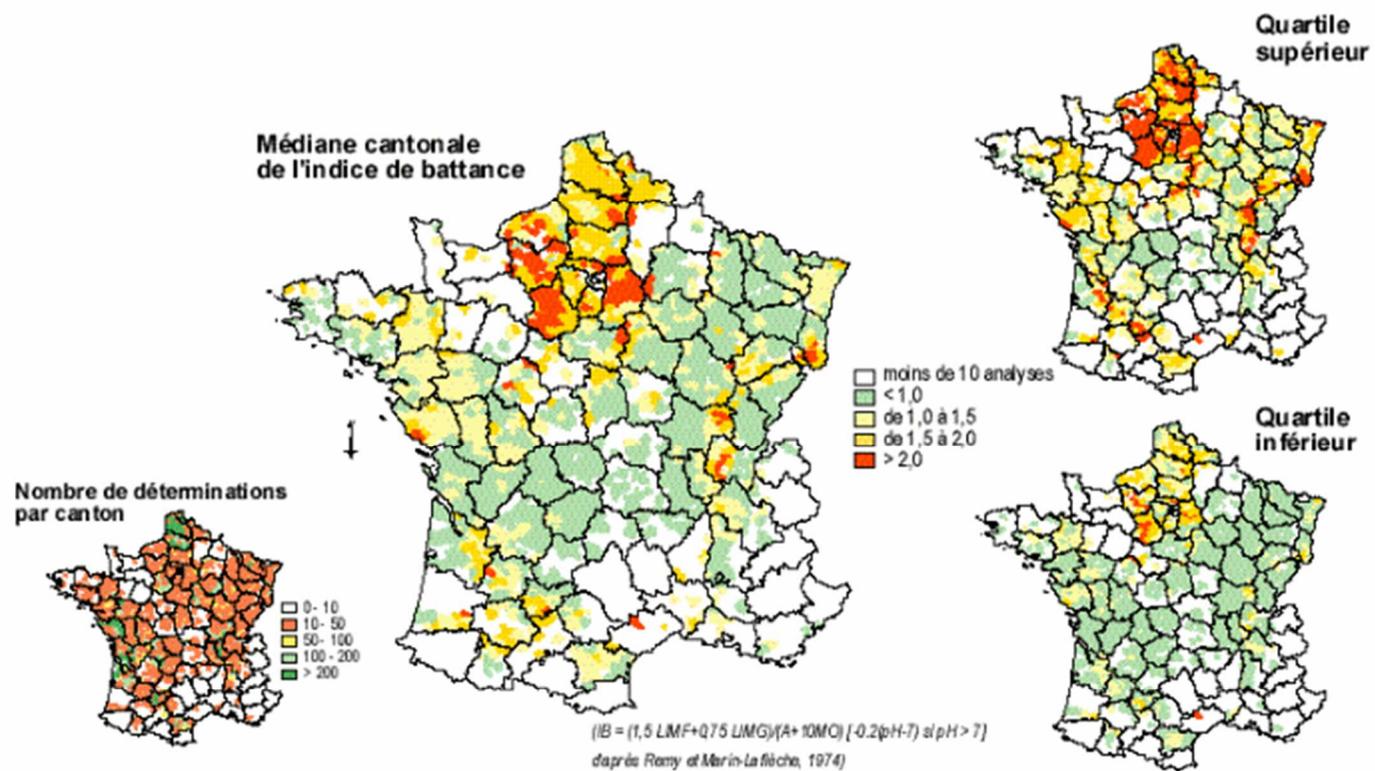
**Carte 8 - Statistiques cantonales de la teneur en sables totaux de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



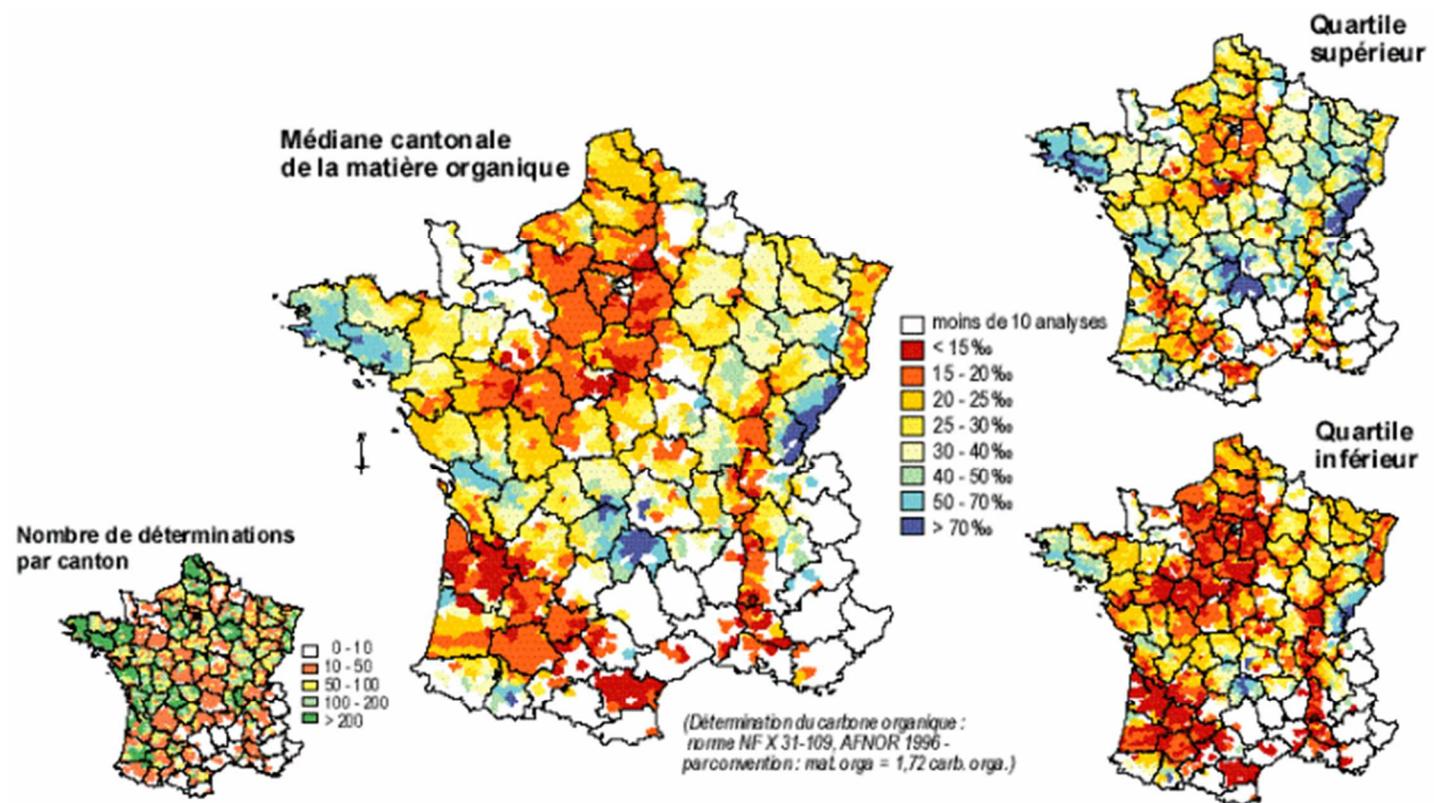
**Carte 9b : Statistiques cantonales de la texture de l'horizon de surface selon le triangle GEPPA simplifié : classe de texture modale, seconde classe de texture, représentativité de la classe modale et nombre de déterminations**



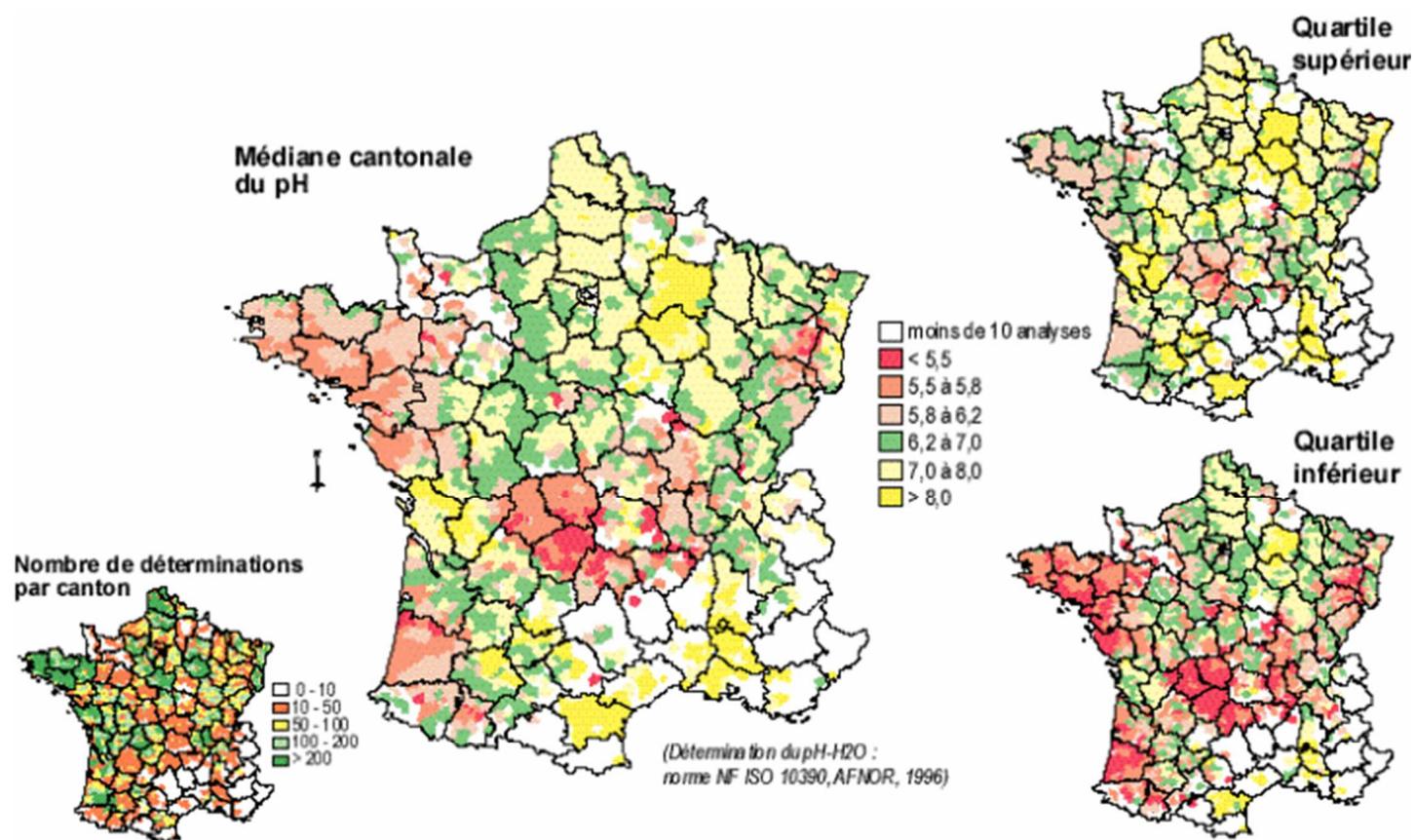
**Carte 9 : Statistiques cantonales de la texture de l'horizon de surface selon le triangle GEPPA : classe de texture modale, seconde classe de texture, représentativité de la classe modale et nombre de déterminations**



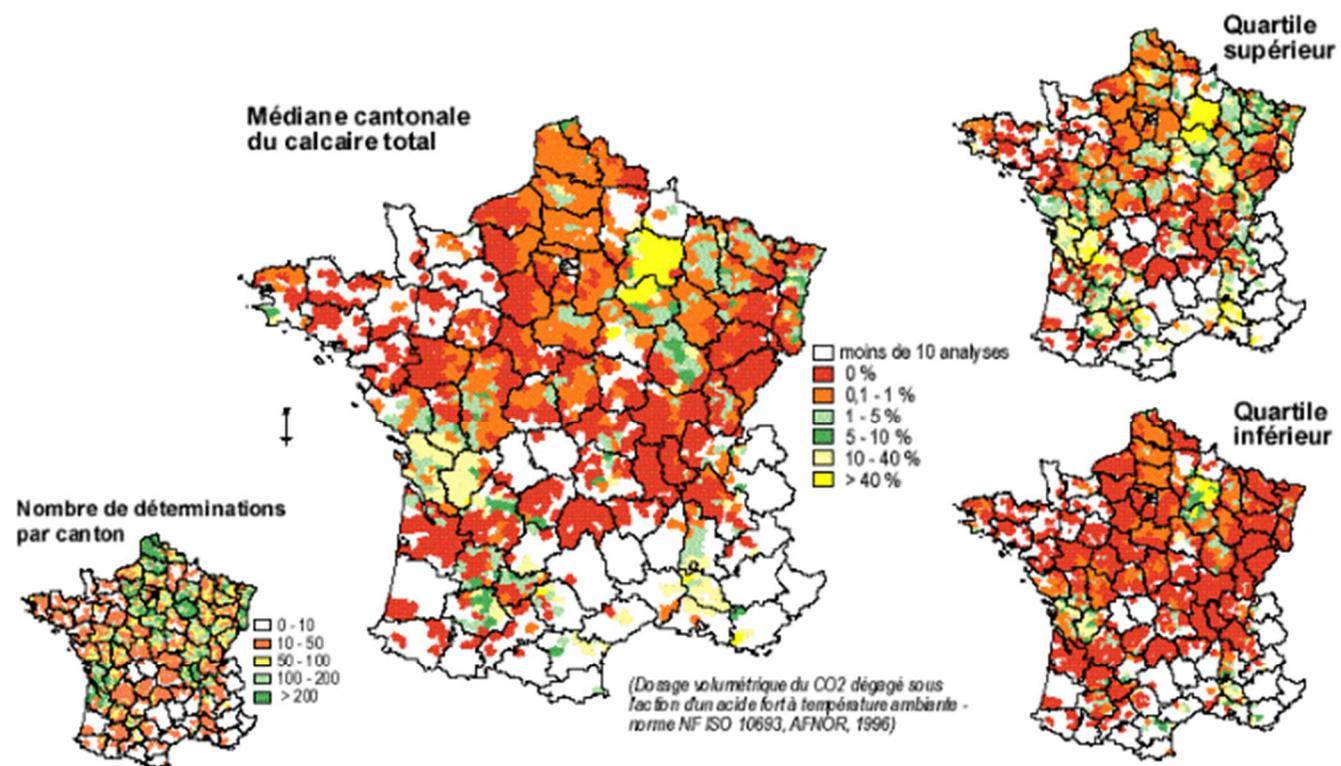
**Carte 10 - Statistiques cantonales de l'indice de battance de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



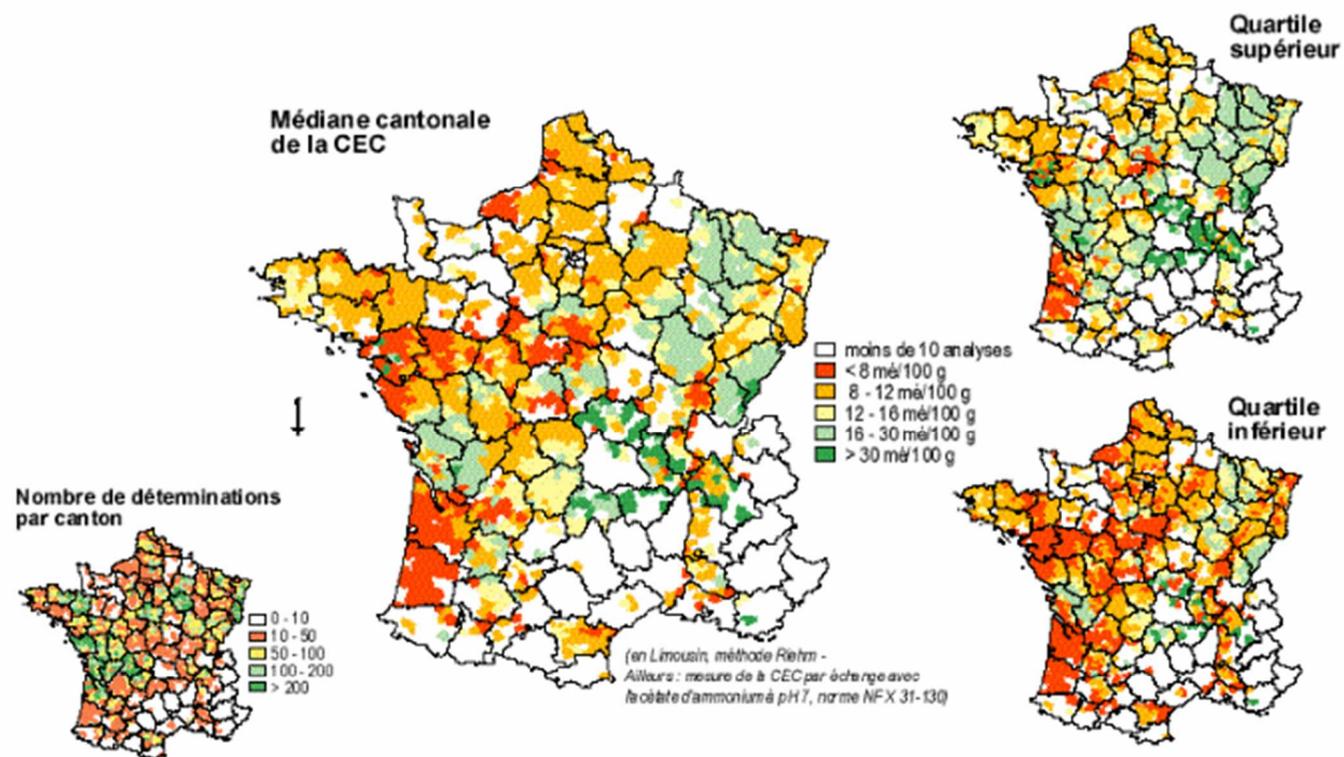
**Carte 11 - Statistiques cantonales de la teneur en matière organique de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



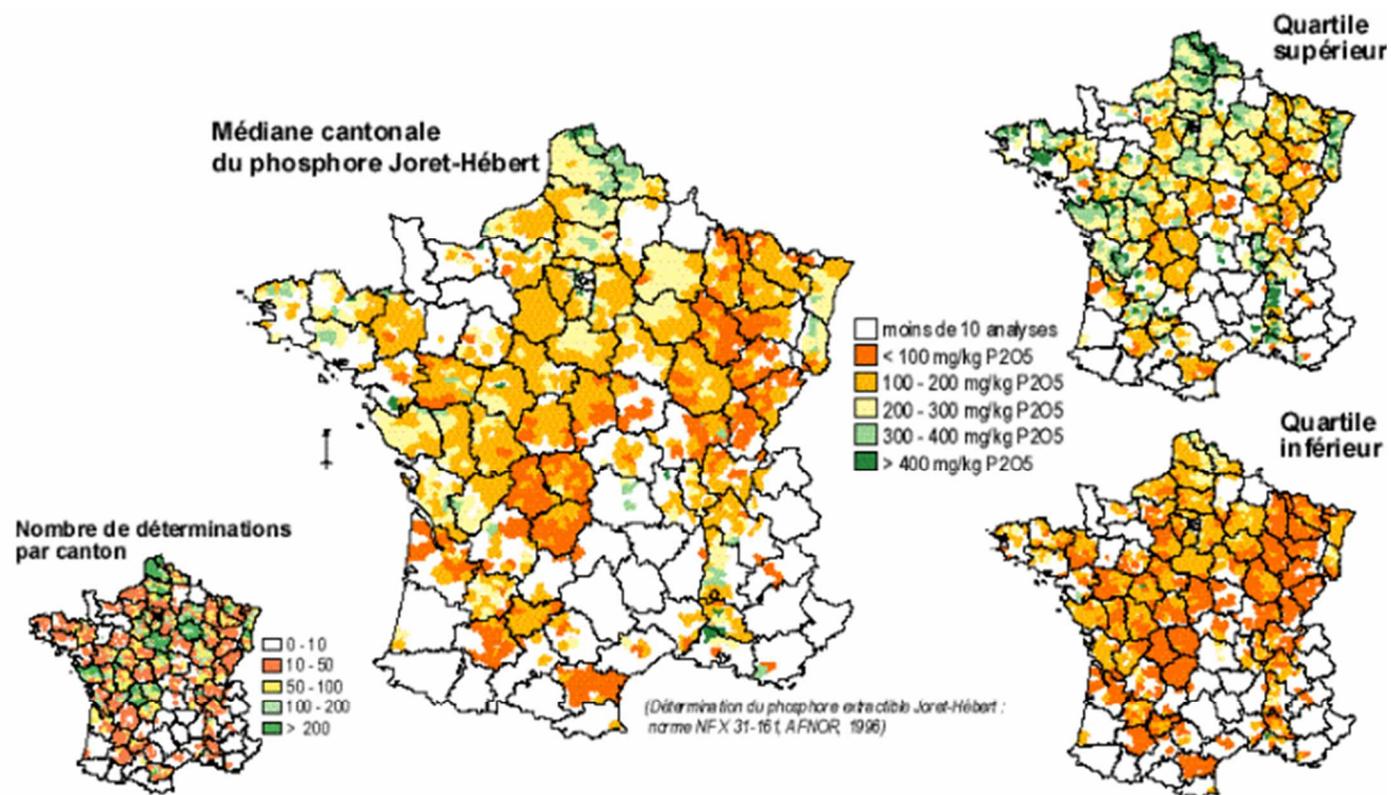
**Carte 12 - Statistiques cantonales du pH de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



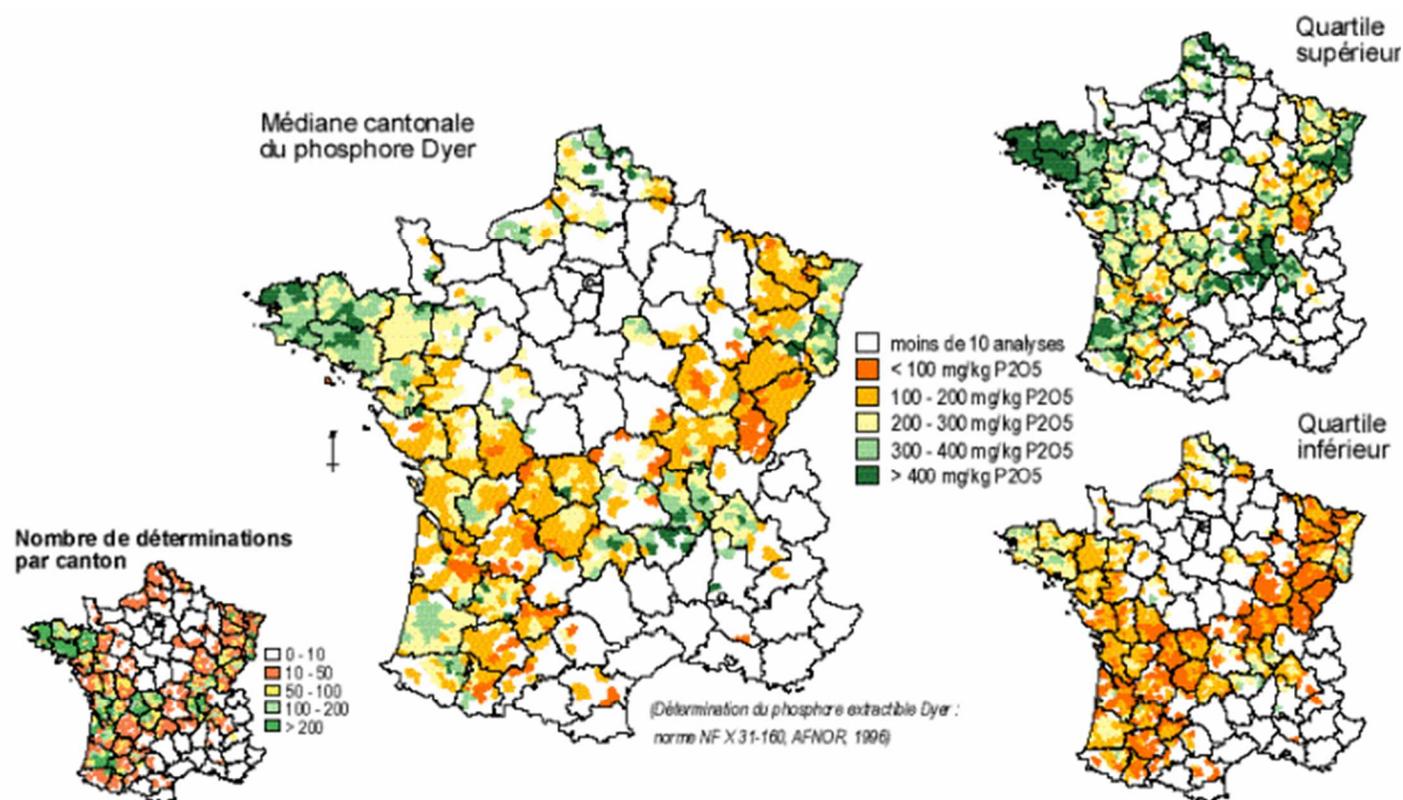
**Carte 13 - Statistiques cantonales du calcaire total de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



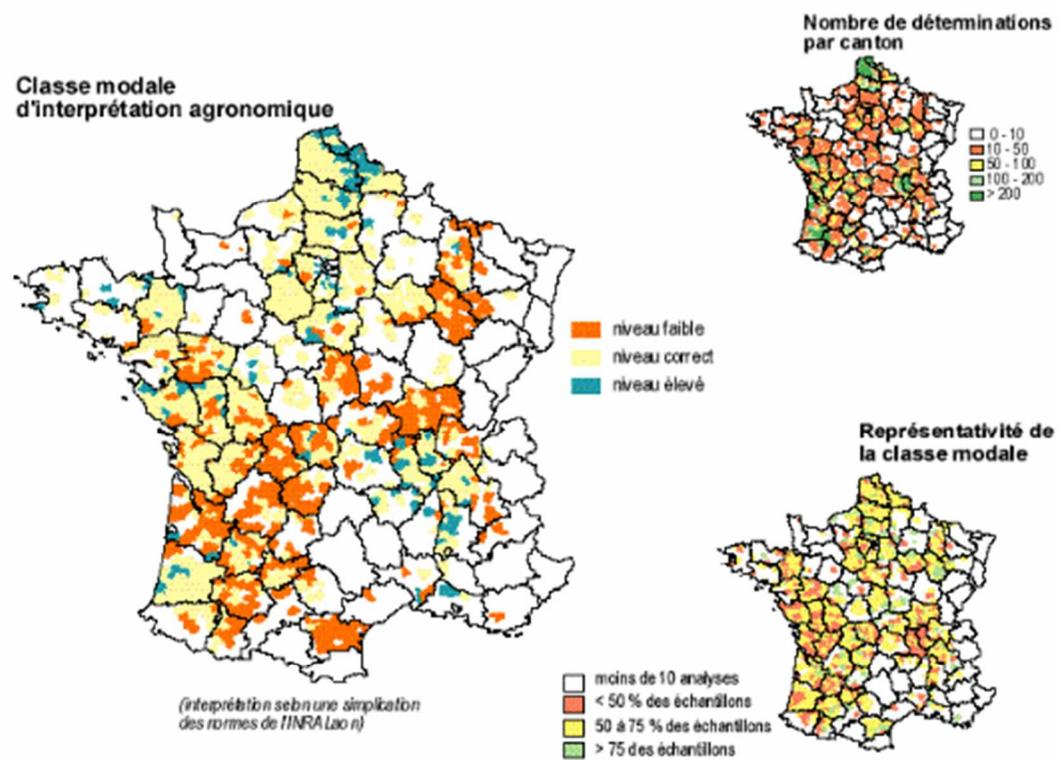
Carte 14 - Statistiques cantonales de la Capacité d'Echange Cationique de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations



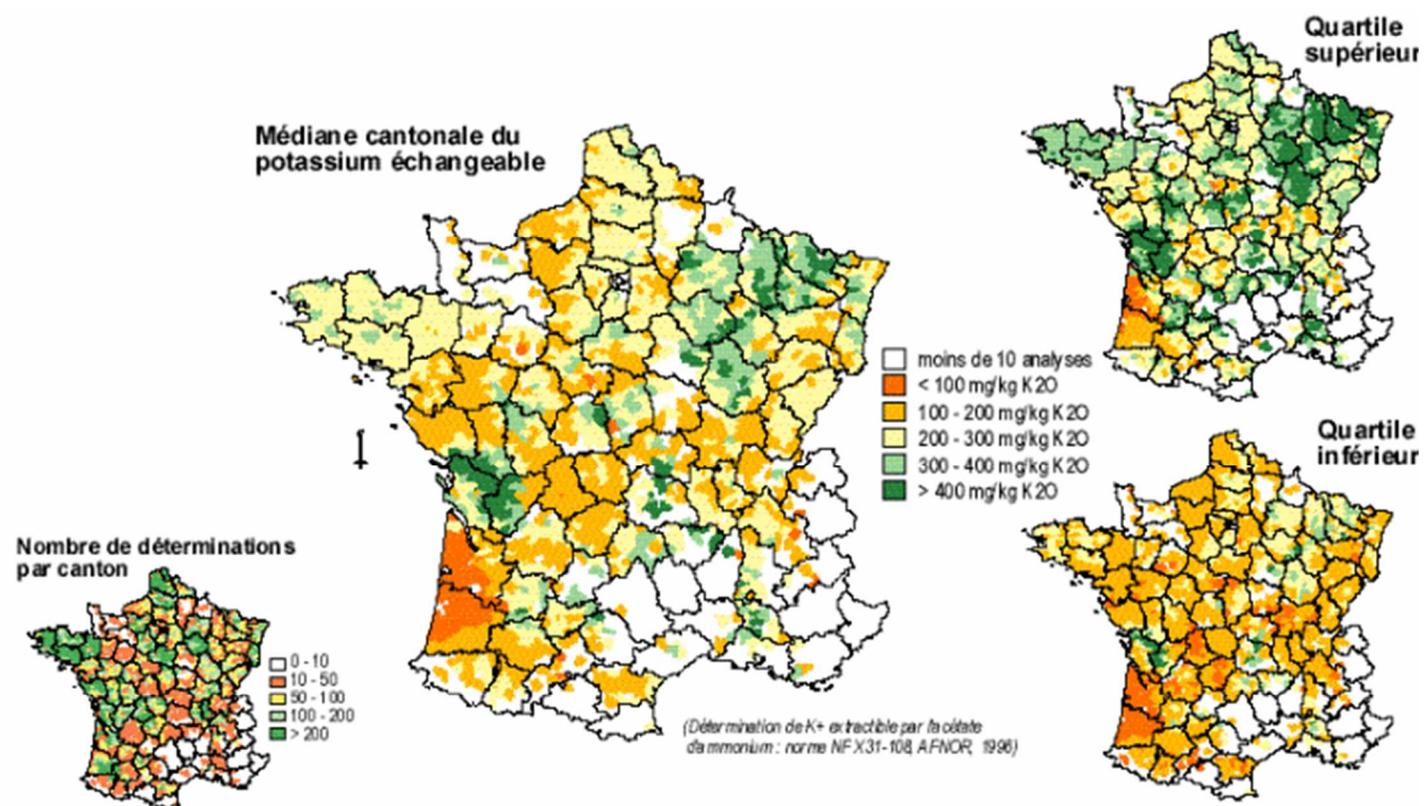
**Carte 15 - Statistiques cantonales du phosphore extractible Joret-Hébert de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



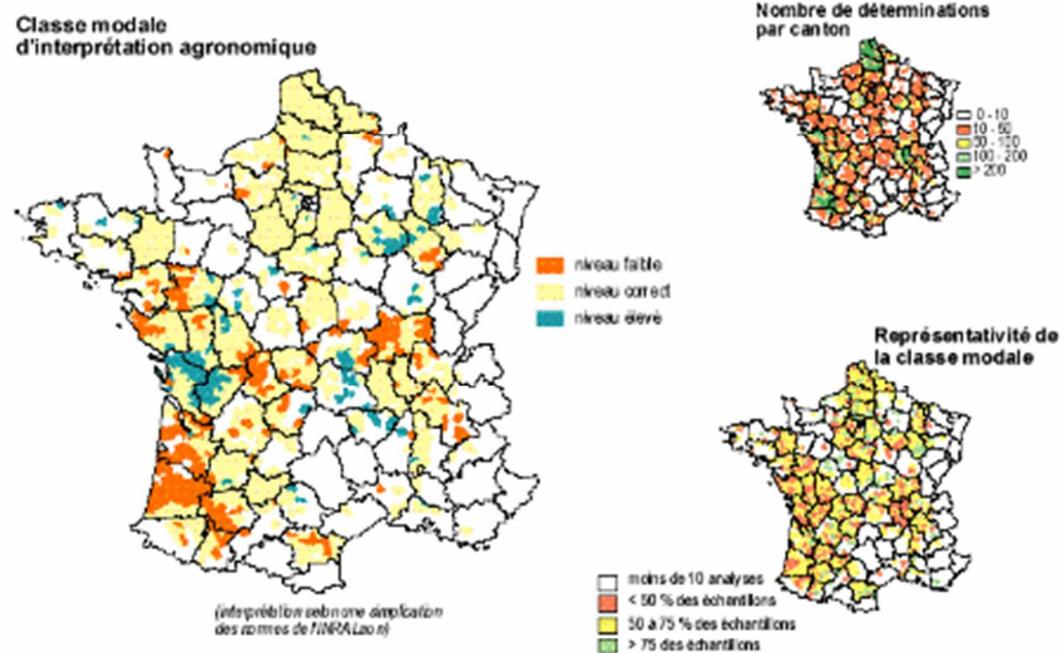
**Carte 16 - Statistiques cantonales du phosphore extractible Dyer de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



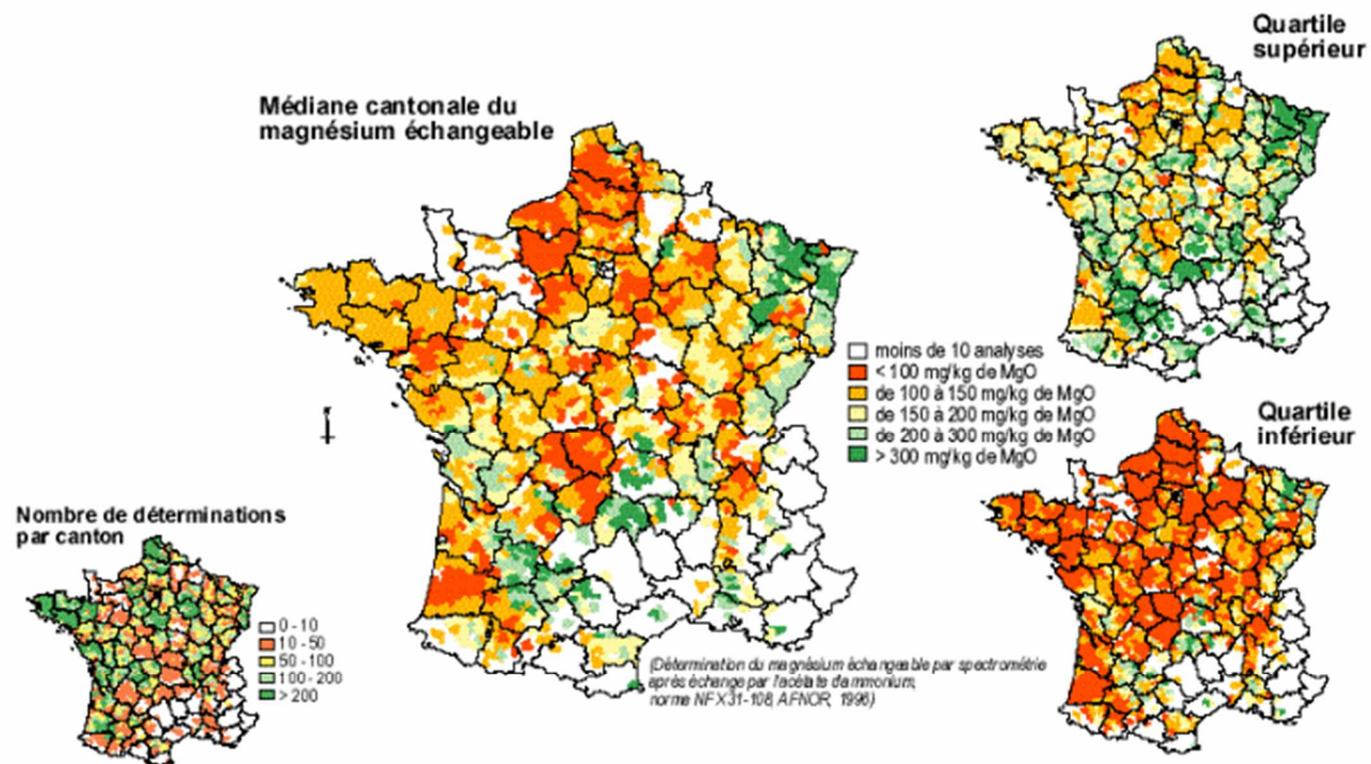
**Carte 17 - Statistiques cantonales des classes d'interprétation agronomique du phosphore extractible : classe d'interprétation modale, représentativité de la classe modale et nombre de déterminations**



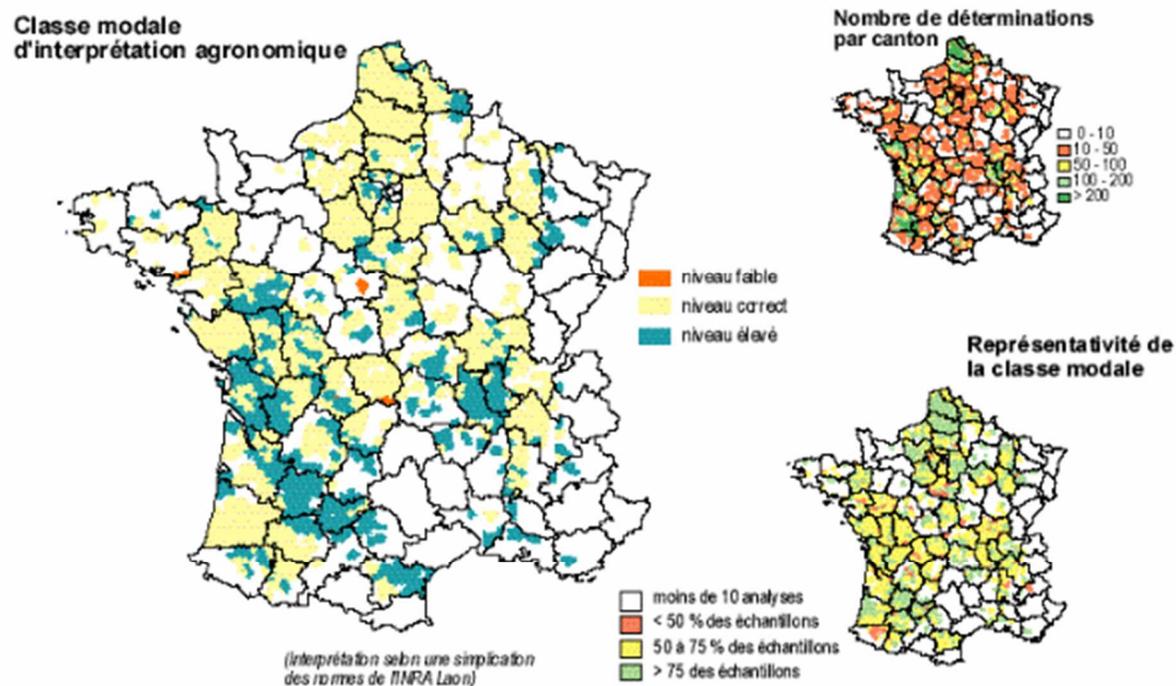
**Carte 18 - Statistiques cantonales du potassium échangeable de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



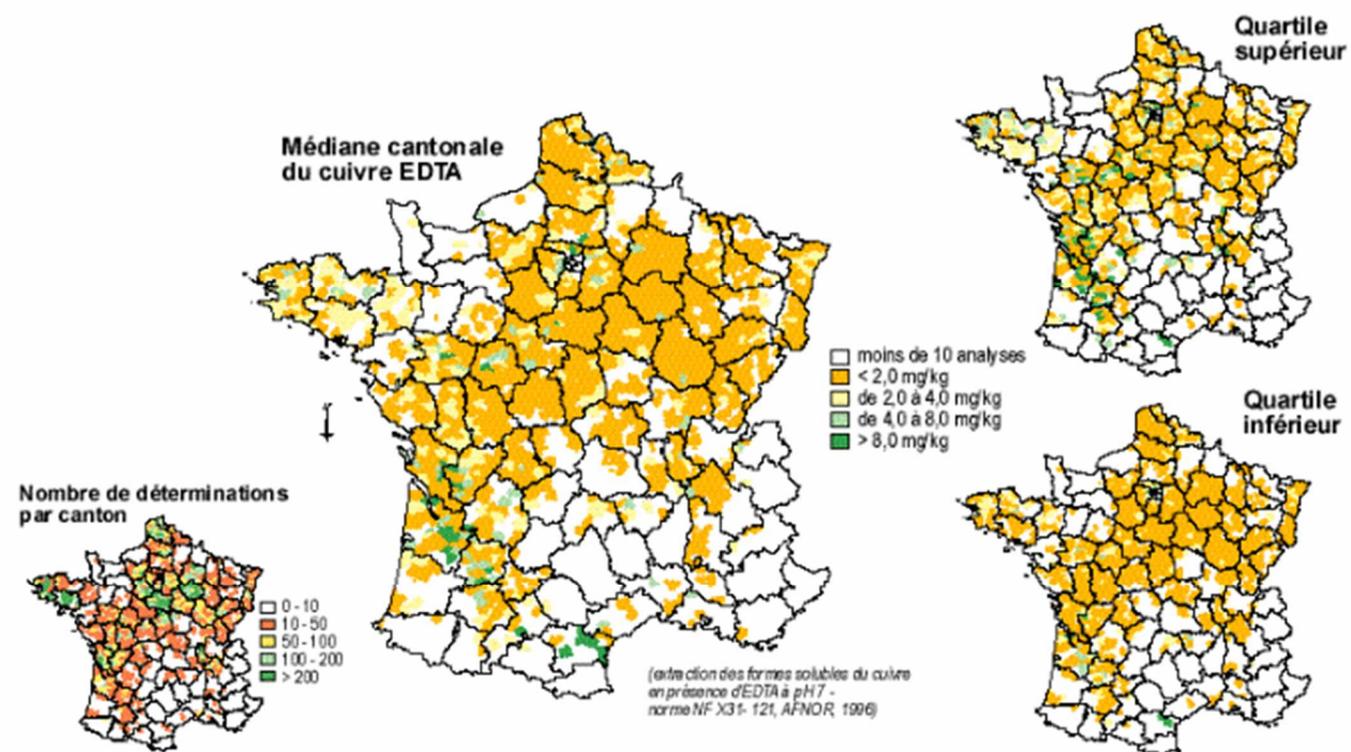
**Carte 19 - Statistiques cantonales des classes d'interprétation agronomique du potassium échangeable : classe d'interprétation modale, représentativité de la classe modale et nombre de déterminations**



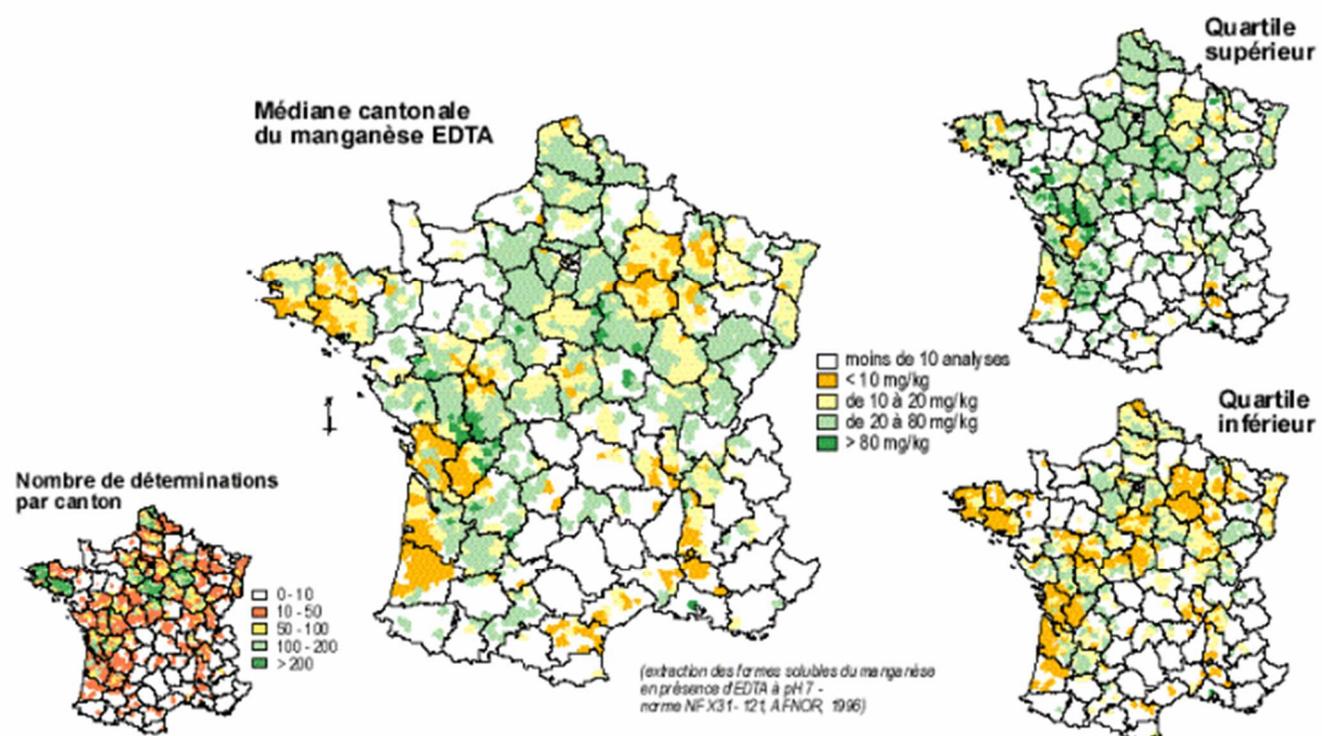
**Carte 20 - Statistiques cantonales du magnésium échangeable de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



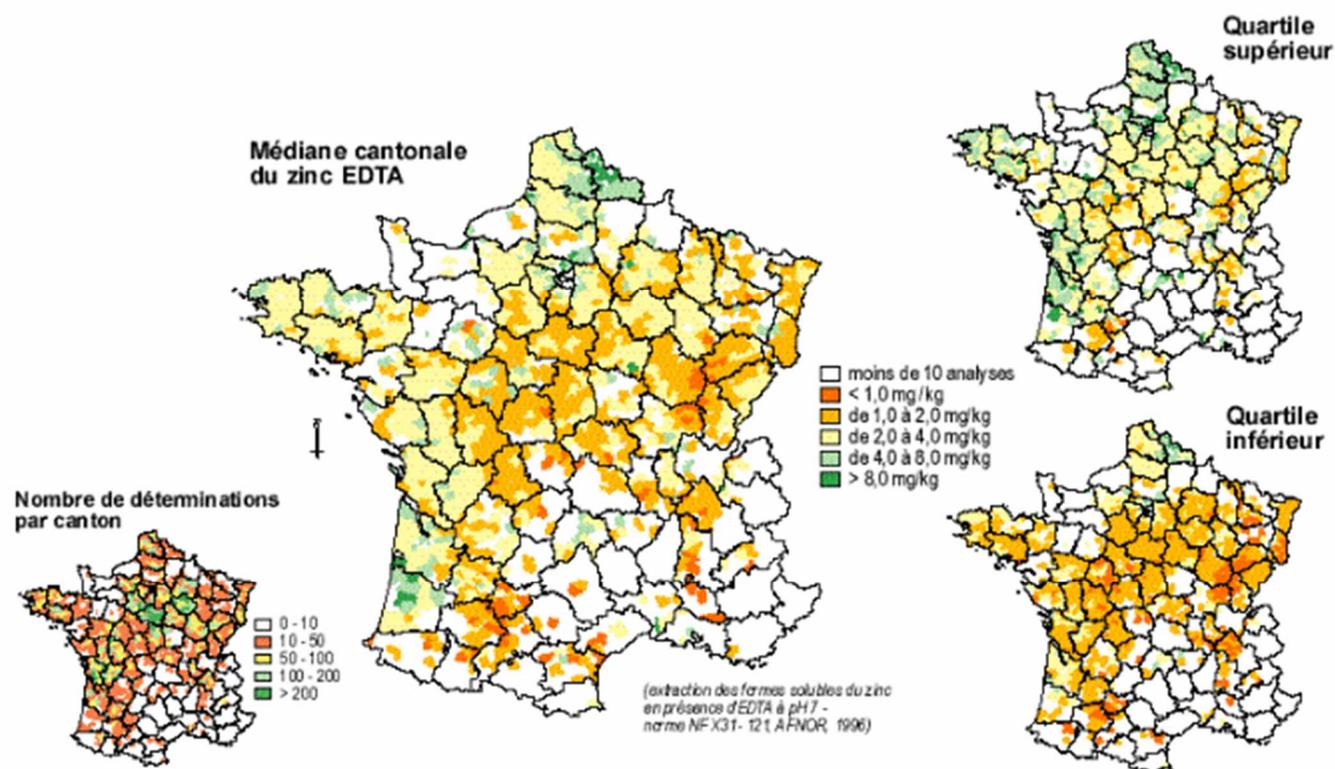
**Carte 21 - Statistiques cantonales des classes d'interprétation agronomique du magnésium échangeable : classe d'interprétation modale, représentativité de la classe modale et nombre de déterminations**



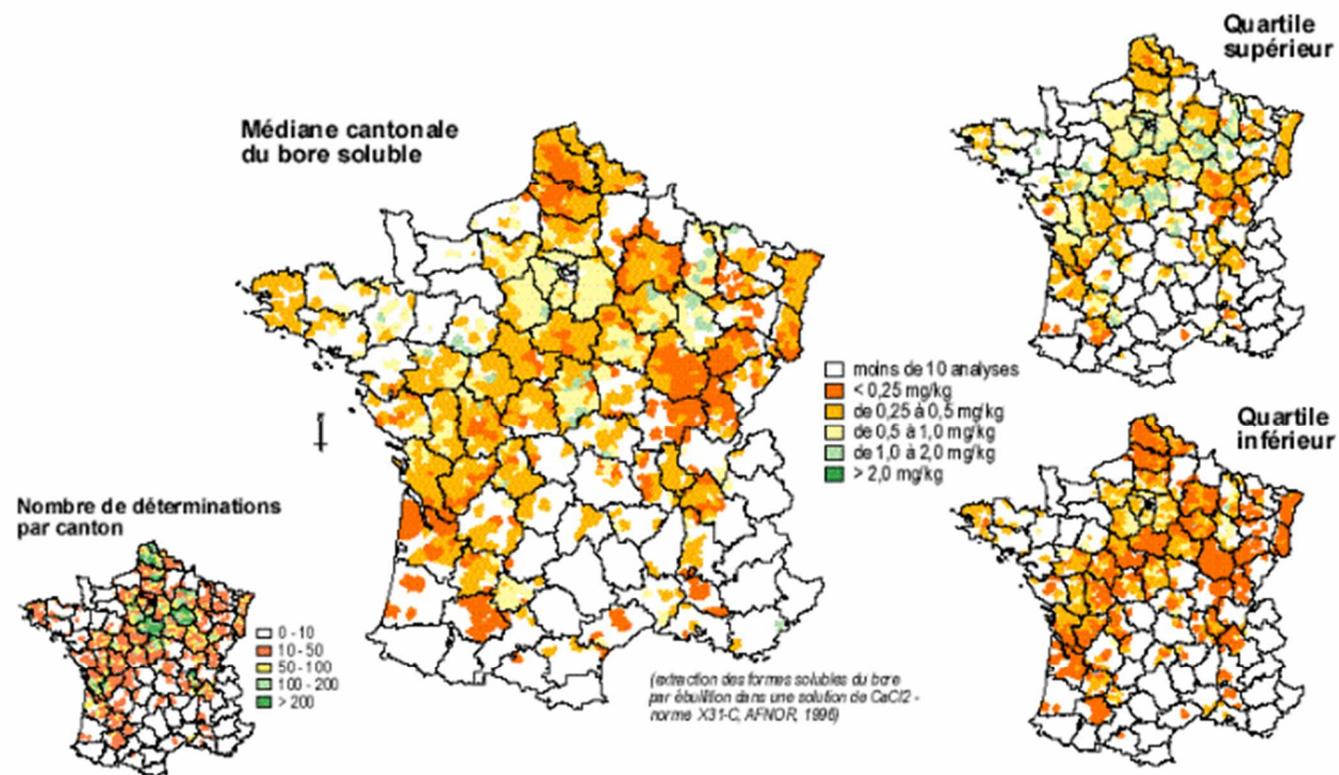
**Carte 22 - Statistiques cantonales des teneurs en cuivre EDTA de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



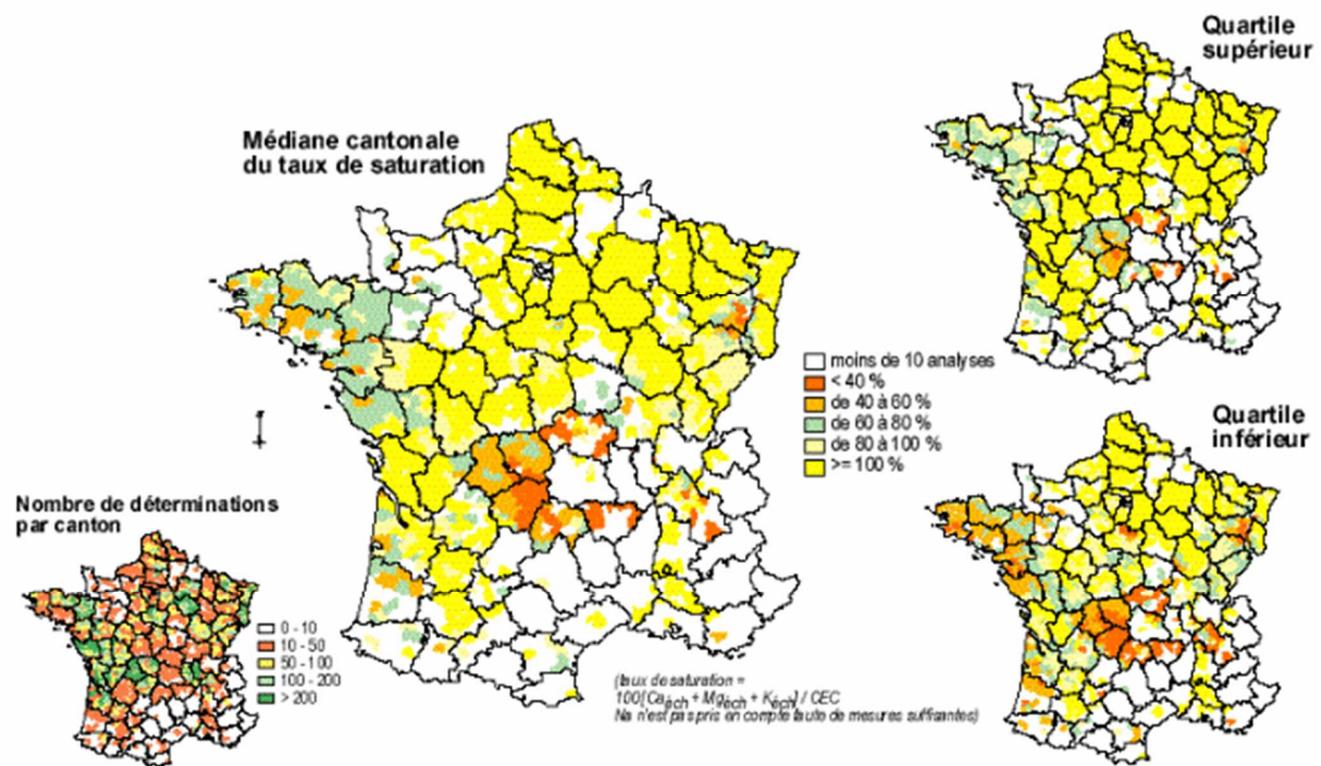
**Carte 23 - Statistiques cantonales des teneurs en manganèse EDTA de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



**Carte 24 - Statistiques cantonales des teneurs en zinc EDTA de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



**Carte 25 - Statistiques cantonales des teneurs en bore soluble de l'horizon de surface des sols cultivés : médiane, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**



**Carte 22 - Statistiques cantonales du taux saturation de la CEC des horizons de surface des sols cultivés : médianes, quartiles inférieur et supérieur, nombre de déterminations**