



RMQS *BioDiv* Bretagne

Tome 9 : Humus Index

Février 2006 – Février 2009

Coordinateur scientifique : Daniel CLUZEAU ³

Bellido³ A., Boulonne¹ L., Cannavacciuolo¹¹ M., Chaussod⁹ R., Cortet⁵ J., Fargette⁷ M., Giteau¹² J.-L., Guernion³ M., Jolivet¹ C., Lavelle⁴ P., Foucaud-Lemercier² B., Martin⁹ F., Mateille⁷ T., Mercier³ V., Péres³ G., Pernin⁵ C., Plantard⁸ O., Ponge⁶ J.F., Ranjard⁹ L., Rouge³ L., Ruiz⁴ N., Tico¹² S., Velasquez⁴ H., Villenave¹⁰ C., Walter² C.

¹ INRA Orléans InfoSol

² Agrocampus Rennes, UMR INRA SAS

³ Université de Rennes1, UMR CNRS *EcoBio*

⁴ Univ. Paris 12 - Bondy, UMR IRD *BioSol*

⁵ ENSAIA-INPL Nancy, UMR INRA *Sols et Environnement*

⁶ UMR CNRS Brunoy

⁷ IRD Montpellier, UMR *CBGP*

⁸ Agrocampus - INRA Rennes, UMR INRA *Bio3P*

⁹ INRA Dijon, UMR INRA MGS

¹⁰ IRD Montpellier, UMR *Eco&Sols*

¹¹ ESA Angers

¹² Chambre d'Agriculture de Bretagne



TOME 9 :
HUMUS INDEX

Table des matières

INTRODUCTION	1
MATERIELS et METHODES	5
Introduction sur les paramètres étudiés.....	5
Nombre d'échantillons traités.....	6
Démarche d'exploitation des données.....	6
1. Exploration des données	9
1.1 Humus Index moyen	9
1.2 Humus Index de surface	11
1.3 Synthèse des paramètres d'Humus Index.....	12
2. Approche spatiale	13
3. Humus Index et variables explicatives	17
3.1 Humus Index et paramètres physico-chimiques.....	17
3.2 Humus Index et « système d'occupation des sols »	19
3.3 Humus Index et pratiques agricoles.....	21
3.4 Humus Index et caractéristiques pédologiques	24
3.5 Humus Index et année de prélèvement.....	27
SYNTHESE / DISCUSSION	29

INTRODUCTION

Dans le cadre de ses missions, l'ADEME est membre fondateur du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol¹) dont les objectifs sont de constituer et de gérer un système d'information sur les sols de France, par rapport à leur distribution spatiale, leurs propriétés et l'évolution de leurs qualités. Parmi les différents programmes menés par le GIS Sol, l'ADEME participe notamment au RMQS (Réseau de Mesure de la Qualité des Sols) dont le principal objectif est de mesurer périodiquement différentes variables afin d'être en mesure d'évaluer la qualité des sols et d'estimer son évolution (Jolivet, 2006). Actuellement, les mesures réalisées sont exclusivement physiques (ex : densité apparente) ou chimiques (ex : teneur en éléments traces). Ainsi, contrairement à d'autres réseaux européens de surveillance des sols, aucune mesure biologique n'est actuellement réalisée. Dès lors, le programme **RMQS BioDiv** a été accueilli très favorablement par le Haut Comité de Groupement du GIS Sol lors de sa présentation en juin 2005, d'une part car il constitue une expérience unique en France de mesure spatialisée de la diversité biologique des sols, et d'autre part car ses conclusions permettront d'orienter le choix des paramètres biologiques à mesurer ultérieurement sur le réseau.

Ce programme complète également deux actions menées par l'ADEME à savoir :

- le programme national ADEME "Bioindicateurs de qualité des sols" qui a besoin d'acquérir des données sur différentes composantes biologiques du sol, dans différents contextes, afin de constituer des référentiels d'interprétation des données acquises par différents bioindicateurs (ADEME, 2004)

- le programme européen ENVASSO² (ENVironmental ASsessment of Soil for mOnitoring) pour lequel l'ADEME est notamment chargée d'animer et de coordonner les actions concernant la mesure de la biodiversité des sols et son interprétation.

¹ <http://www.gissol.fr>

² <http://www.envasso.com/biodiversity.htm>

Le RMQS *BioDiv* vise à établir un premier référentiel de la composante biologique des sols et de son activité grâce à une caractérisation de l'ensemble de la biodiversité des sols ; ses différents objectifs sont :

- évaluer des paramètres définissant l'état de la biodiversité structurale et fonctionnelle
- étudier les relations possibles entre les paramètres définissant la qualité d'un sol et sa composante biologique
- pallier au manque d'outils de mesure des caractéristiques biologiques des sols

Ce programme est mené par l'UMR ECOBIO (Université de Rennes 1 / CNRS) et financé, en partie, par l'ADEME. Différents partenaires de toute la France (Rennes, Paris, Dijon, Montpellier, Nancy) se sont associés pour permettre cet inventaire de la biodiversité des sols bretons. Les groupes biologiques étudiés dans le cadre de ce programme sont : la macrofaune totale, les lombriciens, la mésofaune, les nématodes et la microbiologie. Ainsi, plusieurs échelles de taille d'organismes sont explorées (Figure 1).

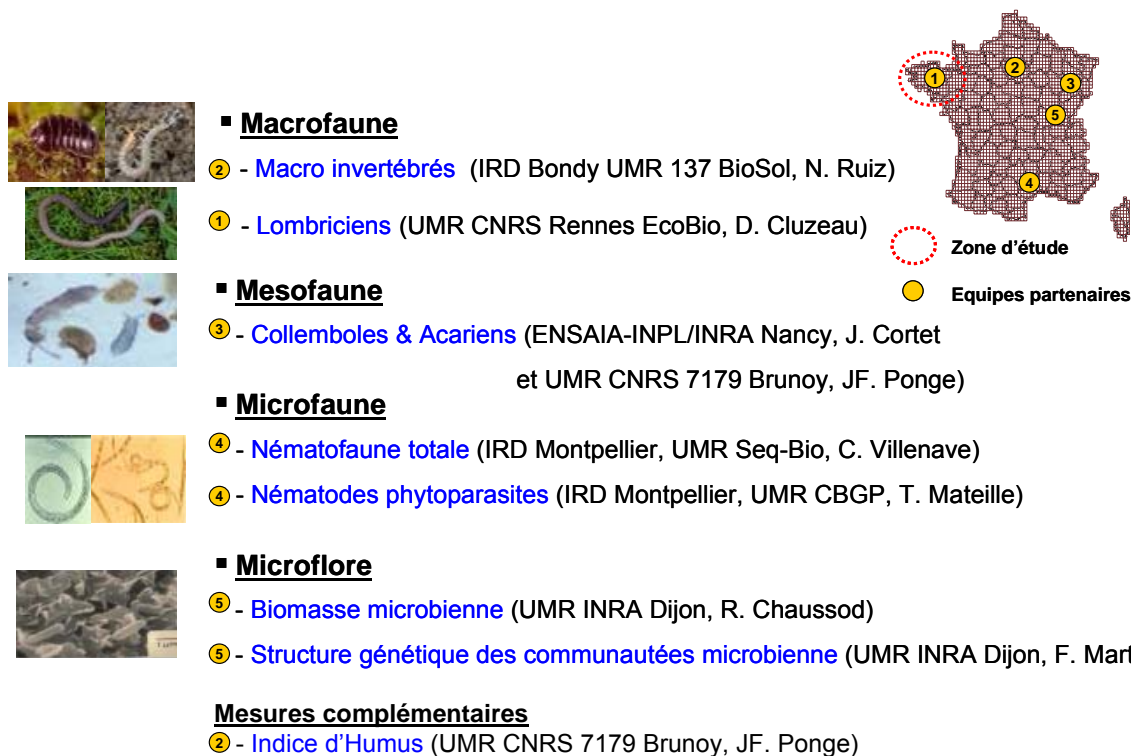


Figure 1 : Groupes biologiques étudiés et équipes partenaires associées du programme RMQS *BioDiv*

Introduction

Ce tome présente les résultats concernant l'Humus Index. Il est constitué de trois parties. **La première partie** est consacrée à l'exploration des données d'Humus Index moyen et de surface. **La deuxième partie** présente les résultats d'approche spatiale à l'échelle régionale. Dans **la troisième partie**, une mise en relation des données d'Humus Index avec les variables explicatives est réalisée.

MATERIELS et METHODES

Introduction sur les paramètres étudiés

La mesure de l'agrégation du sol (action 2.2.3) est réalisée en utilisant une méthode adaptée de l'Humus Index développé par Ponge et al. (2002) en milieu forestier et utilisé depuis pour caractériser les effets sur les sols de la gestion forestière (Ponge et al. 2006) et comme indicateur de la flore (Lalanne et al. 2008). Cette mesure, réalisée sur la couche superficielle du sol, fournit une information relative à l'activité de la faune du sol. Nous testons la force de l'interaction entre cette mesure et le type d'utilisation du sol, les peuplements de macro-invertébrés et l'activité microbienne (mesures de respirométrie) ainsi que son influence sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

Il s'agit d'un indice traduisant un appauvrissement des réseaux trophiques du sol, l'activité des enchytréides ne se percevant que lorsque celle des lombricides est absente ou réduite, et bien entendu, aucune structure visible n'étant réalisée en l'absence de ces deux groupes (Topoliantz et al., 2000).

L'Humus Index correspond à une estimation semi-quantitative du degré de complexité des réseaux trophiques, les plus complets étant ceux renfermant une activité notable de vers de terre (Humus Index 1), les plus pauvres n'ayant ni vers de terre, ni enchytréides (Humus Index 3).

C'est donc un indicateur de biodiversité fonctionnelle, à relier à la biodiversité taxonomique.

➤ Méthodologie

Chaque indice est la moyenne de trois valeurs, correspondant à chacune des trois carottes de sol qui ont été prélevées pour la mésofaune dans chacun des sites.

Le contenu de chaque cylindre est vidé dans une coupelle, puis un score de 1 à 3 est attribué à la structure observée (en l'effritant entre les doigts, sans forcer) :

- 1 pour une structure grumeleuse formée d'agrégats de taille supérieure à 1 mm (réalisée par les vers de terre),

- 2 pour une structure friable mais fine, formée d'agrégats de taille inférieure à 1 mm (formée par des enchytréides),
- 3 pour une structure massive, non friable, ou, dans le cas des sols sableux, pulvérulente sous la forme de grains de sable non rassemblés en agrégats (pas d'activité structurante de la faune).

Nombre d'échantillons traités

Les mesures d'Humus Index sont réalisées à partir des échantillons de mésofaune. C'est pourquoi seuls 99 sites sur les 109 sites RMQS *BioDiv* ont pu être caractérisés du point de vue de l'Humus Index.

NB : Les sites manquants sont : 420, 494, 542, 661, 664, 720, 725, 773, 775 et 776.

Démarche d'exploitation des données

Les logiciels utilisés pour réaliser les analyses sont les suivants :

- XLStat (Version 2007.6 © 1995-2007 AddinSoft),
- Minitab (Version 12.2 © 1998 Minitab Inc),
- R (Version 2.8.0 (2008-10-20) © 2008 The R Foundation for Statistical Computing)
- ArcGis (Version 9.2 © 1999-2006 ESRI Inc.)

a) Exploration des données : analyses descriptives

Les statistiques descriptives et les représentations graphiques sous forme de boîtes à moustaches et d'histogrammes, permettent de caractériser l'Humus Index moyen et l'Humus Index de surface. Ainsi, les valeurs moyenne, minimale, maximale et extrême³ sont identifiées. Des transformations (box-cox⁴) peuvent être réalisées pour normaliser les données.

b) Approche spatiale

La représentation cartographique permet une visualisation à l'échelle régionale des valeurs de chaque paramètre. Pour caractériser la structure spatiale des paramètres, le corrélogramme de l'indice de Moran (1948, 1950) est utilisé ainsi que l'analyse géostatistique (semi-variogramme) effectuée sur les paramètres qui suivent une distribution normale. La présence d'autocorrélation spatiale de l'Humus Index de Surface a été testée par un test Join-Count (Dacey, 1968).

c) Relations avec les variables explicatives

Les liens avec les variables explicatives (paramètres physico-chimiques, occupation des sols, pratiques agricoles, données pédologiques, ...), obtenues dans le cadre du programme RMQS « classique » géré par l'unité InfoSol d'Orléans, sont étudiés. Des tests de corrélation de Spearman ($\alpha = 0,05$) sont réalisés lorsque les variables explicatives sont quantitatives (ex : paramètres physico-chimiques). Lorsque les variables explicatives sont qualitatives, des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis et Mann-Whitney sont effectués.

³ Les valeurs extrêmes sont des valeurs exactes, mais considérées statistiquement comme anormalement faibles ou élevées. Elles sont représentées, dans les boîtes à moustaches, par deux symboles "*" et "o". Les valeurs "o" sont comprises dans l'intervalle $[Q1 - 3(Q3 - Q1); Q1 - 1.5(Q3 - Q1)]$ ou $[Q3 + 1.5(Q3 - Q1); Q3 + 3(Q3 - Q1)]$. Les valeurs "*" correspondent à l'intervalle $]Q1 - 3(Q3 - Q1); Q3 + 3(Q3 - Q1)[$.

⁴ La transformation box-cox permet d'augmenter la normalité des données grâce à l'équation suivante :

$$F_{\lambda}(Y_t) = \begin{cases} (Y_t \lambda + 1)^{1/\lambda} & \lambda > 0 \\ \exp Y_t & \lambda = 0 \end{cases}$$

La valeur de Lambda peut être imposé ou optimisé avec le logiciel XLSTAT. L'optimisation est choisie car elle permet de maximiser la vraisemblance de l'échantillon, étant supposé qu'après transformation l'échantillon suit une loi normale.

1. Exploration des données

1.1 Humus Index moyen

L'humus Index moyen correspond à la moyenne de toutes les valeurs obtenues dans une même parcelle (minimum 3 valeurs – maximum 9 valeurs), quelle que soit la profondeur. Cet indice n'a qu'une valeur limitée, en raison du fait que les 3 niveaux de profondeur (0-5 cm, 5-10 cm et 10-15 cm) ne sont pas toujours prospectés, pour des raisons techniques (impossibilité d'enfoncer le carottier dans les sols les plus compacts). Il sous-estime donc les structures massives (Humus Index 3).

Les sols des sites RMQS *BioDiv* présentent une valeur moyenne d'Humus Index moyen de $2,14 \pm 0,5$. Les valeurs d'Humus Index moyen varient entre 1 et 3 et ne présentent pas de forte hétérogénéité (coefficient de variation de 0,25). Il n'y a pas de valeurs considérées statistiquement comme extrêmes (Figure 2). Aucune comparaison n'est possible avec la littérature, étant donné que cet indice est appliqué pour la première fois à des parcelles agricoles, selon une échelle simplifiée par rapport aux milieux forestiers (où l'Humus Index peut varier de 1 à 9).

Les données brutes de l'Humus Index moyen ne suivent pas une distribution normale. Une transformation box-cox ($\lambda = 1,488$) des données permet de respecter la condition de normalité.

1. Exploration des données

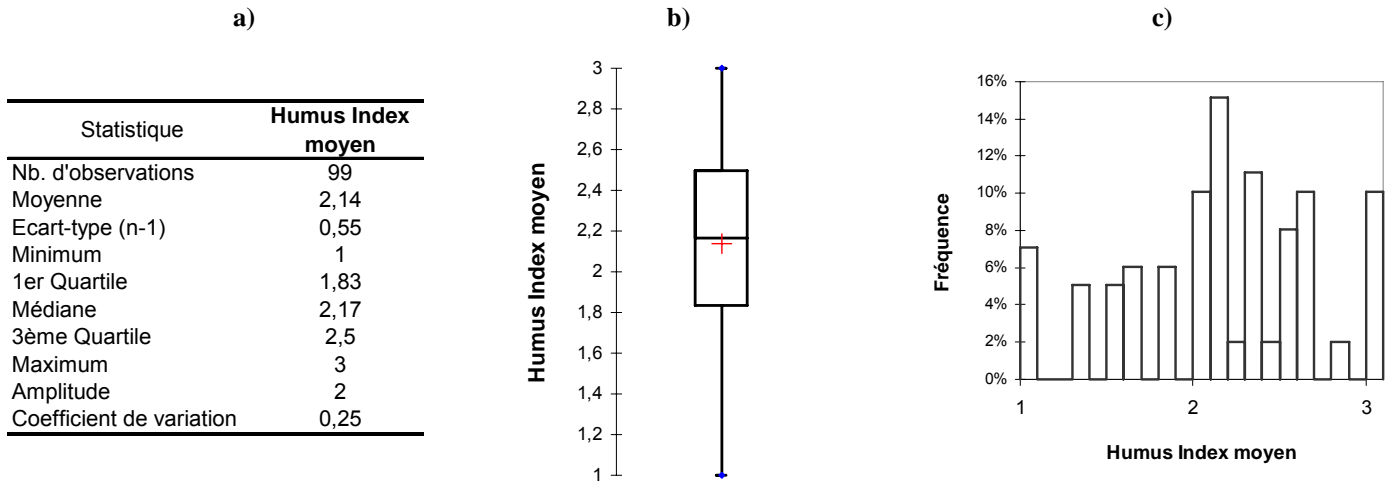


Figure 2 : Statistiques descriptives (a), boîte à moustaches (b) et histogramme (c) de l'Humus Index moyen sur 99 sites RMQS BioDiv

Ces données sont exprimées sans unité (cf. pH)

(+ : la moyenne ; barre du milieu : la médiane ; ° et * : les valeurs extrêmes ; ● : valeur minimale et maximale)

1.2 Humus Index de surface

L'humus index de surface correspond à la moyenne des valeurs obtenues sur les 3 réplicats effectués dans une même parcelle, pour l'horizon 0-5 cm uniquement. Ce nouvel indice permet une comparaison plus aisée entre les différents sols car 16 % des sites n'ont que ce premier horizon.

Sur les 99 sites RMQS *BioDiv*, l'Humus Index de surface est en moyenne de $1,73 \pm 0,66$. L'hétérogénéité entre les valeurs est faible puisque les valeurs s'étendent de 1 à 3. Trente pour cent des sites présentent un Humus Index de surface de 1 (Figure 3).

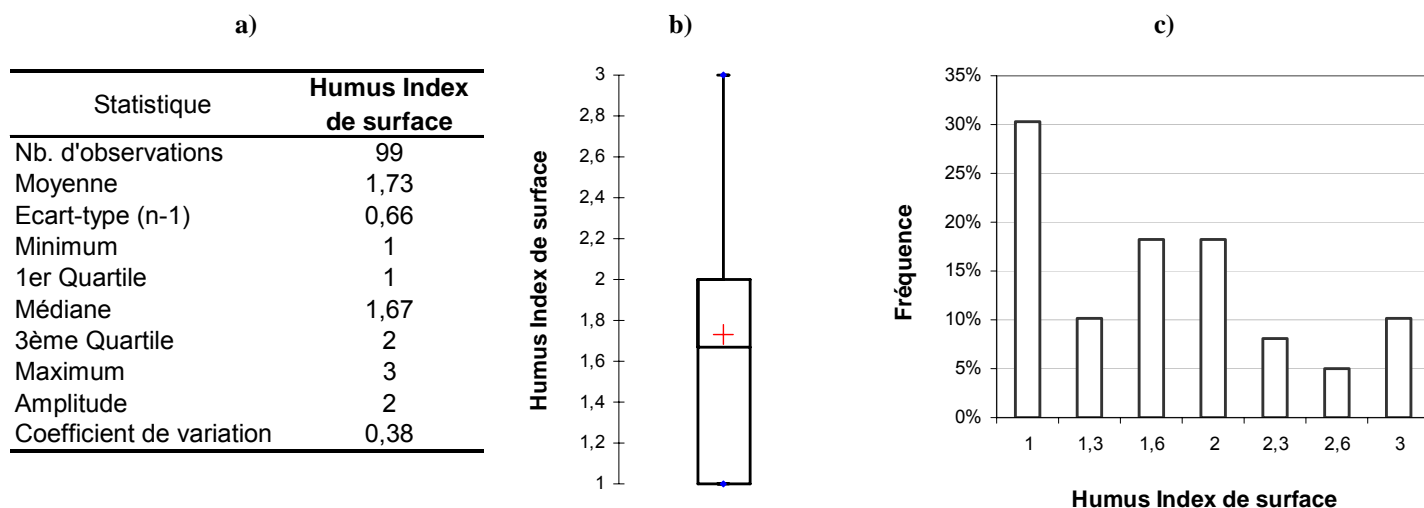


Figure 3 : Statistiques descriptives (a), boîtes à moustaches (b) et histogramme (c) de l'Humus Index de surface sur 99 sites RMQS *BioDiv*

Ces données sont exprimées sans unité (cf. pH)

(+ : la moyenne ; barre du milieu : la médiane ; ° et * : les valeurs extrêmes ; ● : valeur minimale et maximale)

1.3 Synthèse des paramètres d'Humus Index

* Synthèse des conditions de normalité

La normalité des données est obtenue grâce à une transformation box-cox ($\lambda = 1,48$) pour l'Humus Index moyen. En revanche pour l'Humus Index de surface aucune transformation des données (box-cox avec $\lambda = 0,01$) n'a permis l'obtention d'une distribution normale (Tableau 1).

Tableau 1 : Conditions de normalité des données d'Humus Index

Paramètres biologiques	Conditions de normalité	Transformation des données	Nombre de sites restants	Sites écartés
Humus Index moyen	Oui	box-cox ($\lambda = 1,48$)	99	0
Humus Index de surface	non			

* Corrélation

Un test de corrélation de Spearman a été réalisé pour évaluer le lien entre les deux indices. Comme attendu, une corrélation significative existe ($R_s = 0,875$; $p < 0,0001$). Elle est illustrée par la Figure 4.

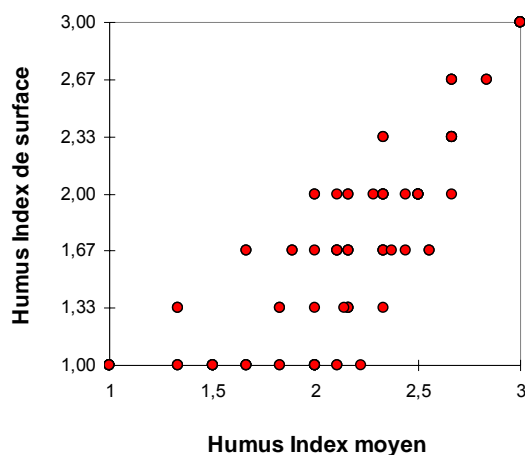


Figure 4 : Distribution conjointe de l'Humus Index moyen et de l'Humus Index de surface

2. Approche spatiale

Les valeurs d'Humus Index moyen et de surface sont représentées spatialement sous forme de cartes (Figures 6 et 7). Cette représentation ne permet pas d'identifier visuellement des patterns spatiaux à l'échelle régionale pour l'Humus Index moyen mais une répartition par « taches » est observée pour l'Humus Index de surface.

Pour réaliser les analyses géostatistiques (semi-variogramme), les données doivent suivre une distribution normale. Dans ce cas les analyses n'ont pu être conduites que sur les données transformées de l'Humus Index moyen.

Le corrélogramme de l'Indice de Moran est significatif ($I = 0,119$; $p\text{-value} = 0,026$; $p\text{-value permutation} = 0,025$). Cela signifie que l'Humus Index moyen présente une autocorrélation spatiale à faible distance pour un pas d'environ 25 km. Le variogramme ne confirme cependant pas l'existence d'une structuration spatiale car on ne distingue pas de points en dehors de l'enveloppe (Figure 5).

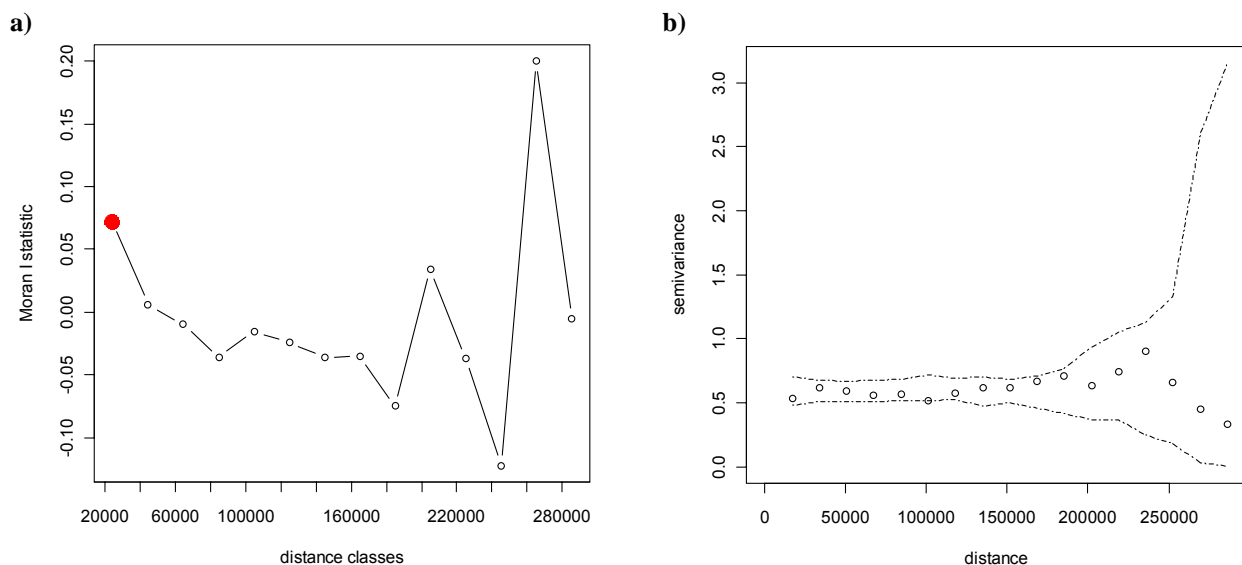


Figure 5 : Corrélogramme (a) et variogramme (b) de l'Humus Index moyen

Un test de Join-Count⁵ est réalisé sur la variable Humus Index de surface (HIS). Il permet de tester la présence d'autocorrélation spatiale sur cette variable codée en 3 catégories : faible, moyen et élevé.

Les résultats sont significatifs pour les modalités moyen et élevé (z "moyen" = -2.20, p -value = 0.028 et z "élevé" = 2.63, p -value = 0.009) mais pas pour la modalité faible (z "faible" = -0.4931, p -value = 0.622). Cela signifie que l'on a plus de chances de retrouver des HIS « élevés » proches les uns des autres que suivant le hasard et moins de chances de trouver des HIS « moyens » proches. A l'inverse, HIS « faible » n'est pas retrouvé à côté d'autres HIS « faibles » plus que suivant le hasard. Il existe donc des « taches » correspondant à des sites présentant une faible activité biologique (HIS « élevé », pas de structuration par la faune). Le résultat concernant HIS « moyen » est significatif mais plus difficilement interprétable.

⁵ Joint-Count : Si $Z > 1,96$, on conclut alors à une autocorrélation positive : la variable étudiée présente une structure spatiale non aléatoire. L'autocorrélation « positive » traduit un regroupement des valeurs de la variable en agrégats ou en « patches » : on a beaucoup de chances de trouver « présent » près de « présent » et « absent » près d'« absent ». Si $Z < -1.96$ l'autocorrélation est négative. Les fonctions `joincount.test` et `joincount.mc` (package : `spdep`) du logiciel R sont utilisées.

Humus Index moyen sur les sites RMQS *BioDiv*



Figure 6 : Carte de l'Humus Index moyen

Humus Index de surface sur les sites RMQS *BioDiv*

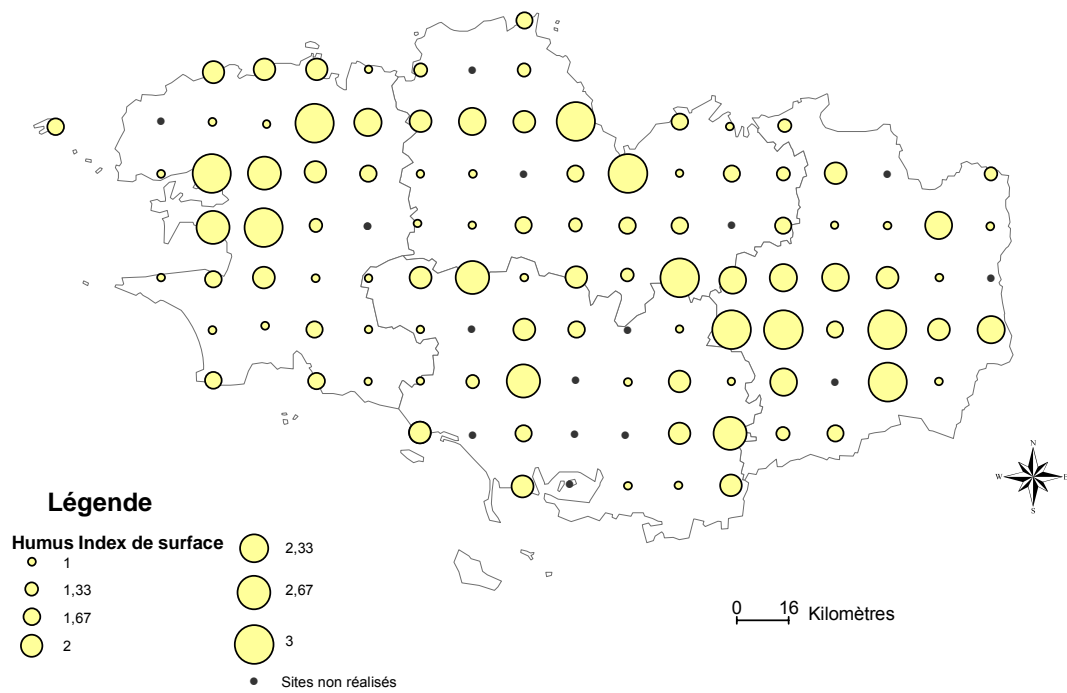


Figure 7 : Carte de l'Humus Index de surface

3. Humus Index et variables explicatives

3.1 Humus Index et paramètres physico-chimiques

Des tests de corrélation de Spearman ont été réalisés pour identifier des liens entre les valeurs d'Humus Index et les 41 paramètres physico-chimiques des sites RMQS.

Les corrélations significatives sont présentées dans le tableau 2 ci-dessous. Les Humus Index sont corrélés positivement avec les limons grossiers (Figure 8.a) alors qu'ils le sont négativement avec tous les autres paramètres. En effet, l'Humus Index moyen est négativement corrélé avec les sables grossiers (Figure 8.b), le potassium total, l'aluminium total et le thallium. L'Humus Index de surface est en outre négativement corrélé avec le phosphore assimilable. Notons que les corrélations observées, bien que significatives, restent relativement faibles.

Tableau 2 : Corrélations de Spearman significatives entre Humus Index et paramètres physico-chimiques

Variables	Humus Index moyen		Humus Index de surface	
	R	p	R	p
LIMONS_GROSSIERS	0,301	0,003	0,244	0,015
MO_TOT	-0,197	0,050	-0,222	0,028
P_ASS	-0,204	0,043	-0,251	0,012
ZN_TOT	-0,209	0,038	-0,226	0,025
TENEUR_EAU_RES	-0,214	0,033	-0,196	0,052
PB_TOT	-0,226	0,025	-0,194	0,054
AZOTE_TOT	-0,233	0,020	-0,241	0,017
TL_TOT	-0,251	0,012	-0,186	0,066
AL_TOT	-0,252	0,012	-0,238	0,018
K_TOT	-0,279	0,005	-0,206	0,041
SABLES_GROSSIERS	-0,317	0,001	-0,222	0,028

Dans les limites de l'échantillon considéré, et tout en sachant que les valeurs faibles de r_s peuvent résulter d'une forte variabilité, on peut conclure que les sols à limons grossiers sont défavorables à la diversification des réseaux trophiques, alors que les sols sableux lui sont favorables. Par contre, les sols les plus fertiles (valeurs élevées de N total, P assimilable, K total) ont un Humus Index bas, donc des réseaux trophiques plus diversifiés.

3. Humus Index et variables explicatives

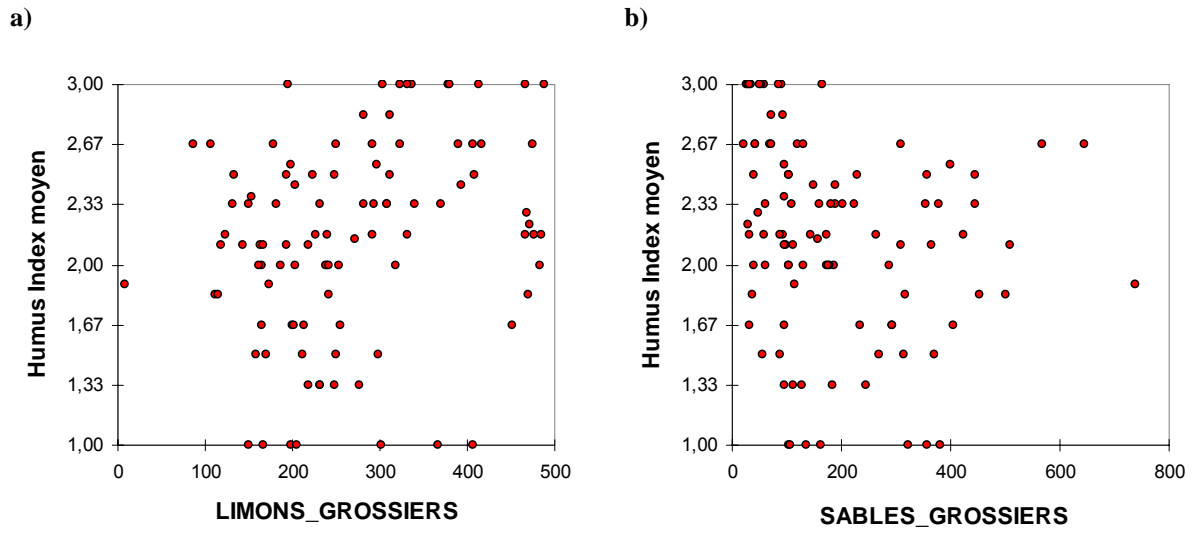


Figure 8 : Illustration des corrélations significatives
a) Humus Index moyen et limons grossiers ; b) Humus Index moyen et sables grossiers

3.2 Humus Index et « système d'occupation des sols »

3.2.1 Occupation du sol : premier niveau

Les sites RMQS *BioDiv* ont été classés selon la nature du système (culture, prairie, forêt) auquel ils appartiennent.

Des tests de Kruskal-Wallis sont effectués pour chaque indice en fonction des trois systèmes. Une procédure de comparaisons multiples est ensuite appliquée pour identifier les groupes présentant des différences (méthode de Dunn avec correction de Bonferroni). Les boîtes à moustaches illustrent les résultats. Notons que ces tests sont réalisés sur 98 sites car la dune (713) n'est pas intégrée dans ces analyses.

Les tests de Kruskal-Wallis ne sont significatifs pour aucun des indices avec respectivement $H = 1,2$; $p = 0,55$ pour l'Humus Index moyen et $H = 4,9$; $p = 0,09$ pour l'Humus Index de surface. Cela signifie que les Humus Index ne sont pas significativement différents d'un système à l'autre (Figure 9), bien qu'une tendance vers des Humus Index de surface plus élevés existe en milieu forestier.

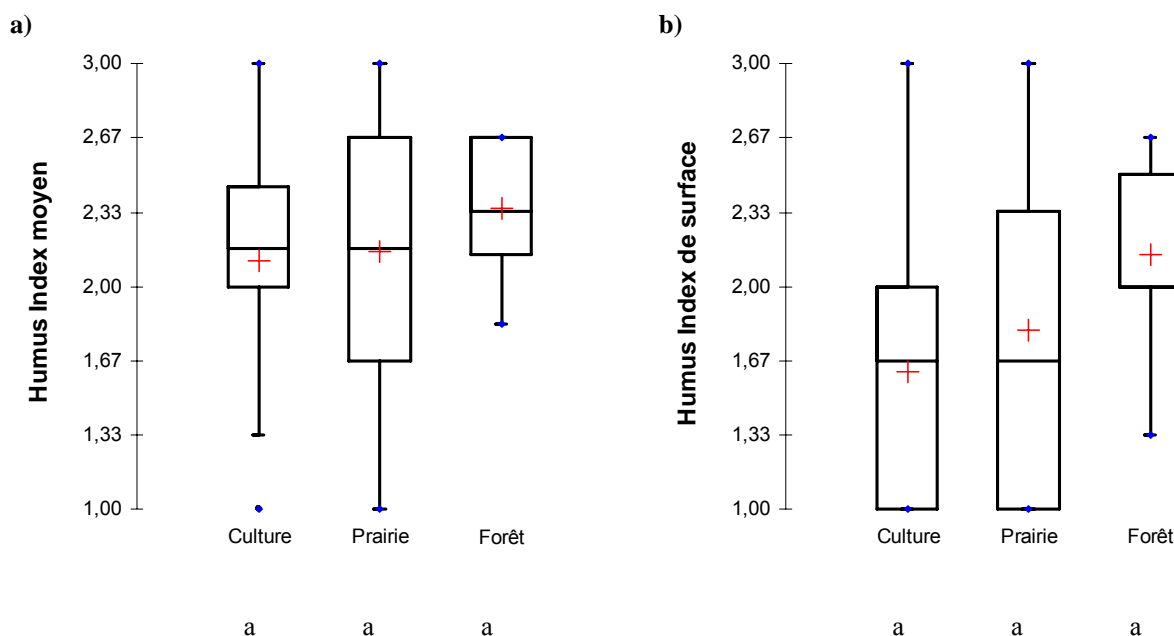


Figure 9 : Humus Index par (a) moyen et (b) de surface par « système d'occupation des sols »
Culture (N = 45), Prairie (N = 46) et Forêt (N = 7)

3.2.2 Occupation du sol : deuxième niveau

Dans un second temps, la classification de l'occupation du sol à été affinée en se basant, dans la mesure du possible, sur la codification FAO⁶. Pour les systèmes cultivés, une distinction est établie entre les systèmes toujours en grande culture (AA) et les systèmes en grande culture incluant des prairies dans la rotation (AA/M). Pour les systèmes prairiaux, les prairies temporaires (M/AA) sont dissociées des prairies permanentes (Mp).

Les mêmes traitements statistiques sont appliqués que précédemment (test de Kruskal-Wallis et correction de Bonferroni).

Les tests de Kruskal-Wallis ne sont significatifs pour aucun des indices avec respectivement $H = 4,3$; $p = 0,37$ pour l'Humus Index moyen et $H = 8,2$; $p = 0,086$ pour l'Humus Index de surface. Cela signifie que les Humus Index ne sont pas différents selon les occupations du sol (Figure 10). La même tendance est cependant toujours observée pour l'Humus Index de surface en forêt.

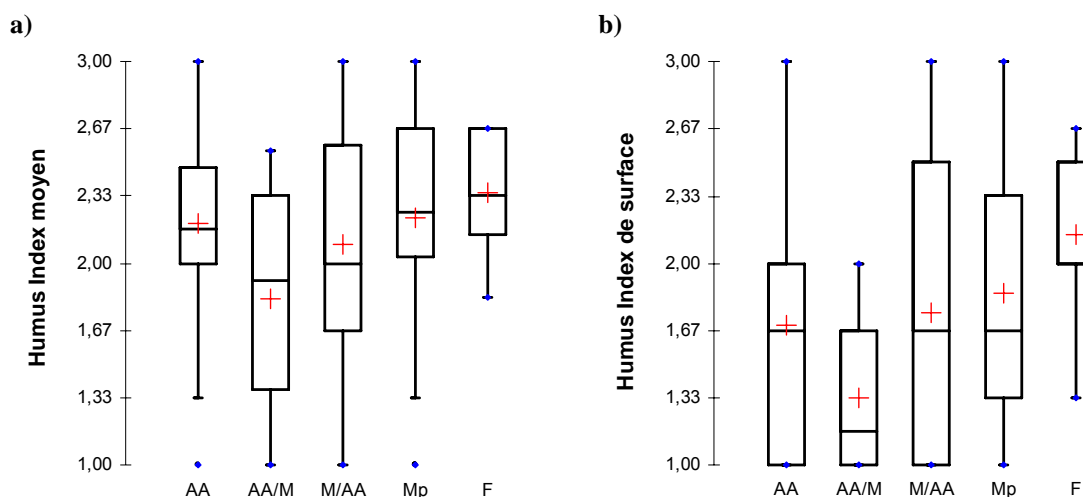


Figure 10 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par occupation du sol

AA : Grande culture (N = 35) ; AA/M : Culture dans rotation grande culture-prairie (N = 10) ;
M/AA : Prairie dans rotation grande culture-prairie (N = 23) ; Mp : Prairie permanente (N = 22) ;
F : Forêt (N = 7)

⁶ <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0541e/a0541e00.pdf>

3.3 Humus Index et pratiques agricoles

Les pratiques agricoles étudiées, ici, sont :

- le type de fertilisation (pas de fertilisation, minérale, organique, minérale et organique)
- l'amendement et fertilisation organique (rien, non pailleux, pailleux, mixte)
- le travail du sol (pas de travail, travail sans labour, travail inf à 25, travail sup à 25)
- les traitements phytoparasitaires (oui, non)

Les mêmes traitements statistiques sont appliqués que précédemment (test de Kruskal-Wallis et correction de Bonferroni) pour la majorité des variables. Un test de Mann-Whitney est réalisé pour la variable traitements phytosanitaires.

Les résultats ne sont pas significatifs (Figure 11). Les valeurs d'Humus Index ne sont pas significativement différentes en fonction des pratiques agricoles étudiées (Figures 12, 13, 14 et 15).

	H	p-value	significativité
Test de Kruskal-Wallis en fonction du type de fertilisation			
Humus Index moyen	1,790	0,617	H0
Humus Index de surface	5,233	0,156	H0
Test de Kruskal-Wallis en fonction du paillage dans la fertilisation			
Humus Index moyen	2,275	0,517	H0
Humus Index de surface	5,022	0,170	H0
Test de Kruskal-Wallis en fonction du travail du sol			
Humus Index moyen	2,456	0,483	H0
Humus Index de surface	1,918	0,590	H0
Test de Mann Whitney en fonction du traitement phytoparasitaire			
Humus Index moyen	767,500	0,149	H0
Humus Index de surface	754,000	0,114	H0

Figure 11 : Résultats des tests de Kruskal-Wallis et Mann-Whitney en fonction des variables « pratiques agricoles ».

3. Humus Index et variables explicatives

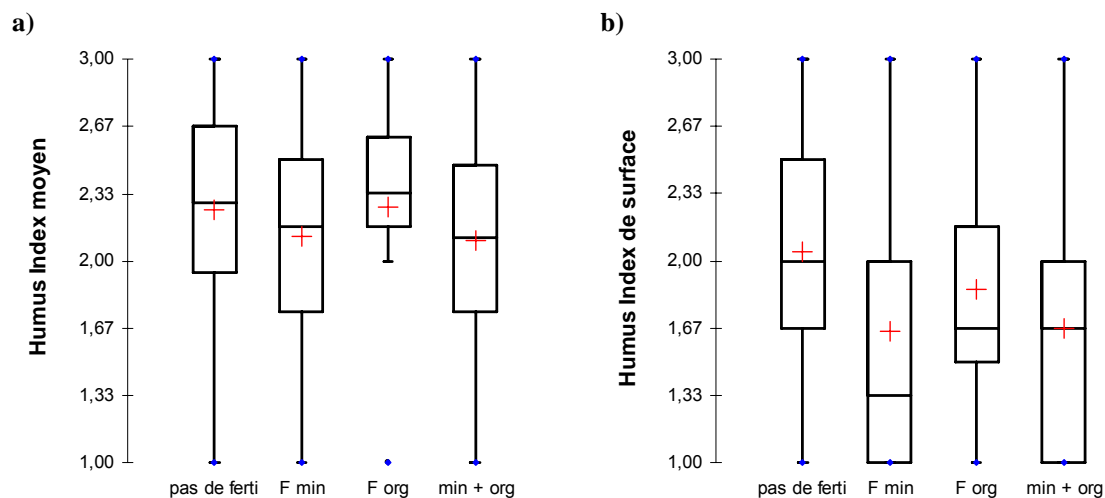


Figure 12 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type de fertilisation
pas de ferti : Pas de fertilisation (N = 15) ; **F min** : Fertilisation minérale (N = 18) ;
F org : Fertilisation organique (N = 7) ; **min + org** : Fertilisation minérale et organique (N = 59)

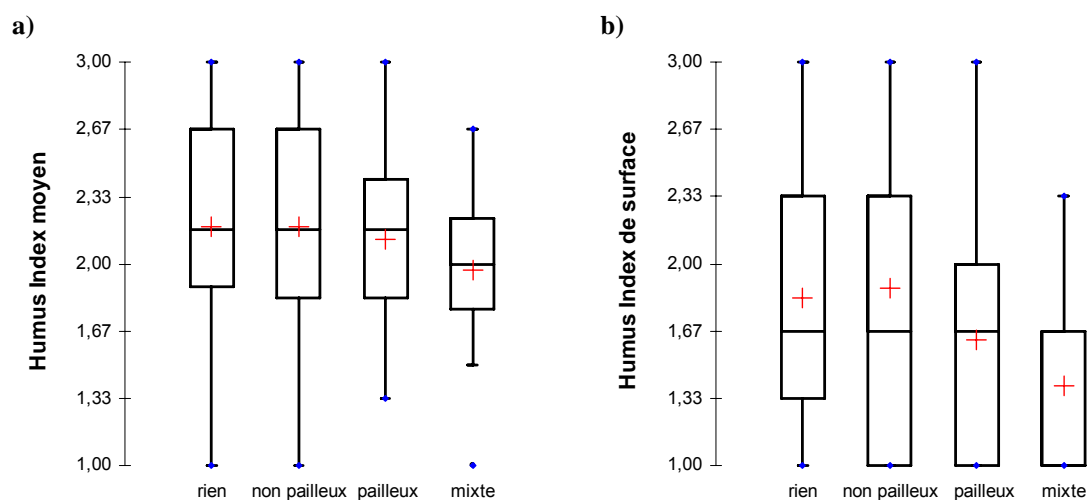


Figure 13 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type d'amendement et fertilisation organique
rien : Pas de fertilisation et fertilisation minérale (N = 35) ; **non pailleux** : lisier, fientes et purin (N = 27) ;
pailleux : fumier (N = 34) ; **mixte** : fumier + lisier (N = 13)

3. Humus Index et variables explicatives

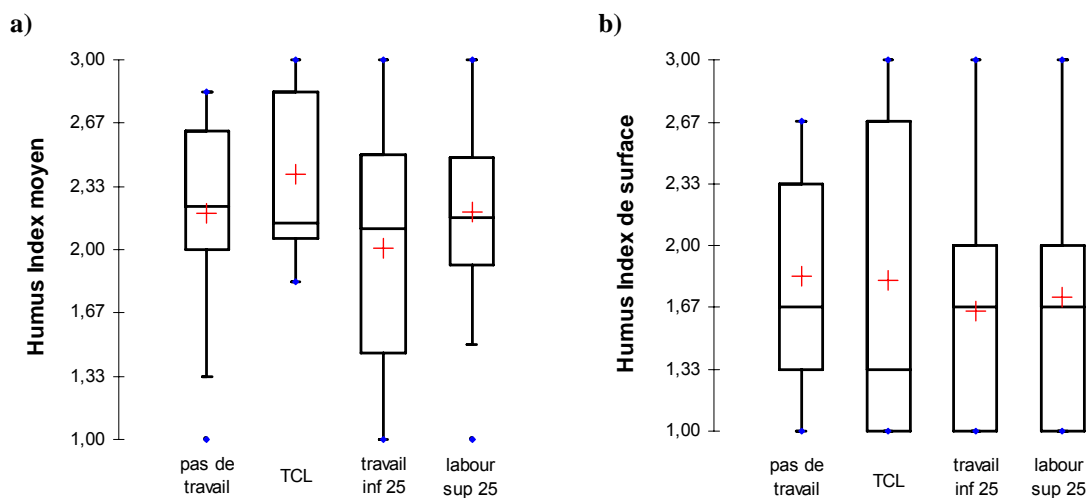


Figure 14 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type de travail du sol
pas de travail : Pas de travail du sol (N = 26) ; **TCL** : Technique sans labour (N = 7) ;
travail inf 25 : travail inférieur à 25 cm (N = 36) ; **labour sup 25** : labour sup ou égal à 25 (N = 30).

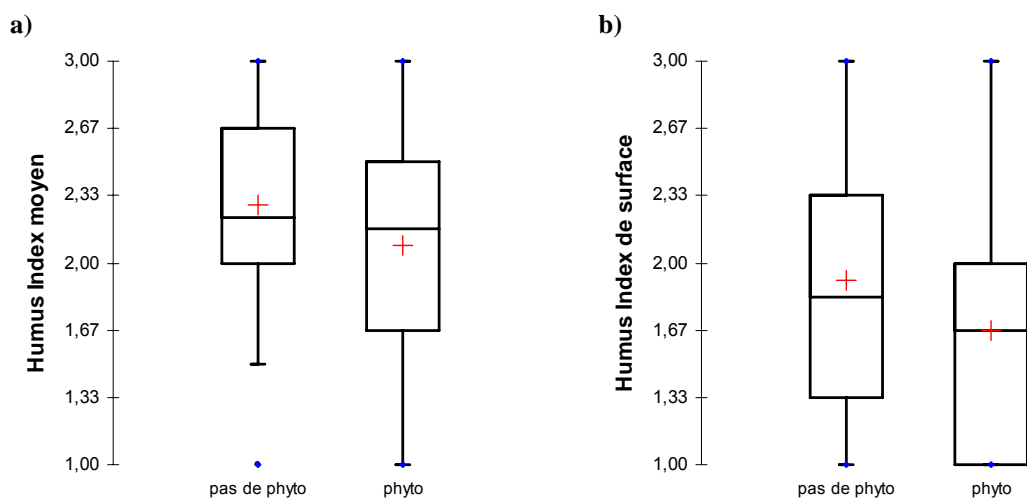


Figure 15 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par présence ou non de traitements phytosanitaires
pas de phyto (N = 26) ; **phyto** (N = 73)

3.4 Humus Index et caractéristiques pédologiques

Les données pédologiques utilisées ici sont basées sur le code tarière. Ce code synthétique rassemble des informations sur :

- la géologie
- l'hydromorphie
- le profil de sol
- la profondeur de sol

Les mêmes traitements statistiques sont appliqués que précédemment (test de Kruskal-Wallis et correction de Bonferroni).

Un seul résultat est significatif (Tableau 3). Il s'agit de l'humus Index moyen en fonction des classes d'hydromorphie (Figure 17).

Tableau 3 : Résultats des tests de Kruskal-Wallis avec les variables pédologiques

	KW	p-value	Significativité
<i>Humus Index moyen</i>			
Géologie	13,05	0,11	ns
Hydromorphie	9,09	0,03	s
Profil de sol	5,41	0,07	ns
Profondeur	2,21	0,53	ns
<i>Humus Index de surface</i>			
Géologie	11,32	0,18	ns
Hydromorphie	4,52	0,21	ns
Profil de sol	4,36	0,11	ns
Profondeur	0,27	0,97	ns

3. Humus Index et variables explicatives

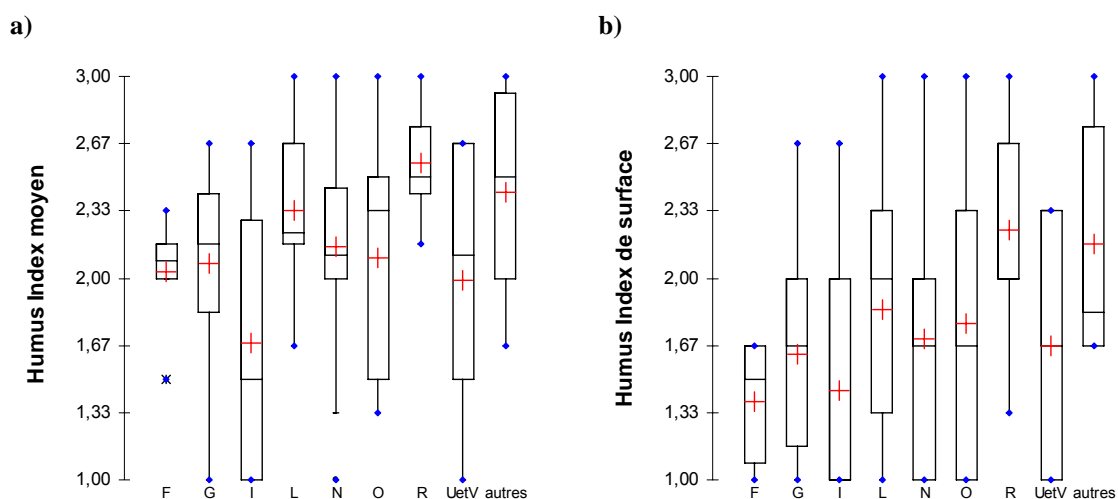


Figure 16 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type de matériaux parentaux

F : Micashiste (N = 6) ; **G** : Granite (N = 23) ; **I** : Gneiss (N = 9) ; **L** : Limon (N = 13) ;

N : Schiste tendre (N = 21) ; **O** : Schiste moyen (N = 9) ; **R** : Schiste gréseux (N = 7) ;

UetV : Matériau d'apport colluvial et alluvial (N = 5) ;

autres : Sable, Terrasse caillouteuse, Grès dur, Eboulis de pente (N = 6)

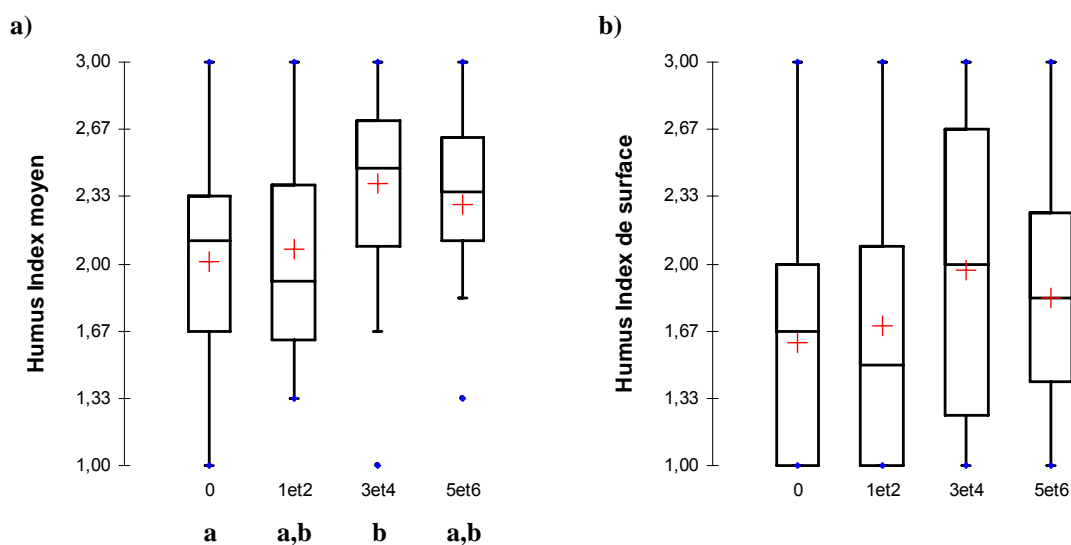


Figure 17 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par classe d'hydromorphie

0 : Absence d'hydromorphie (N = 53) ;

1 et 2 : taches d'oxydo-réduction à une prof sup à 80 cm (N = 12) ;

3 et 4 : taches d'oxydo reduction à une prof entre 40 et 80 cm (N = 24) ;

5 et 6 : taches d'oxydo reduction dès la surface (N = 10)

3. Humus Index et variables explicatives

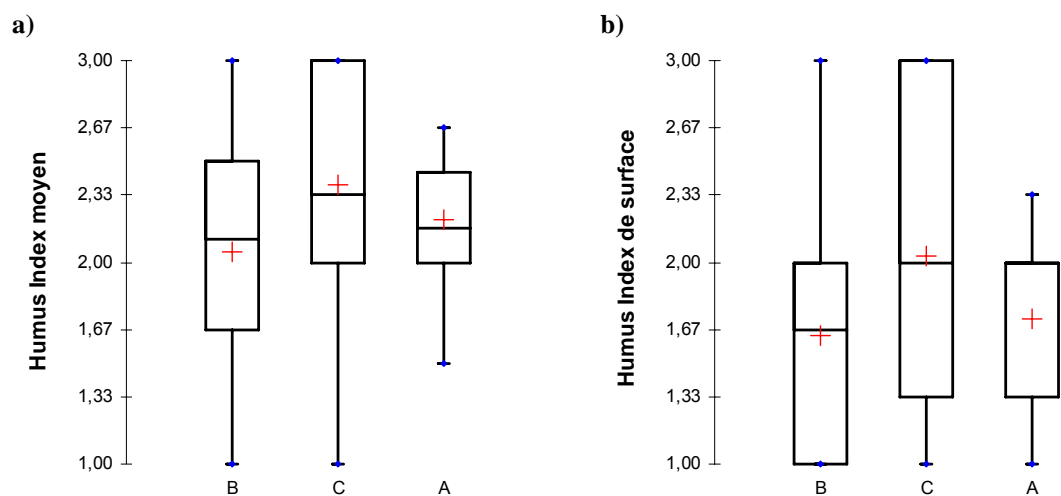


Figure 18 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type de sol
B : Sol brun (N = 65) ; **C** : Sol brun faiblement lessivé (N = 21) ; **A** : Autres sols (N = 13)

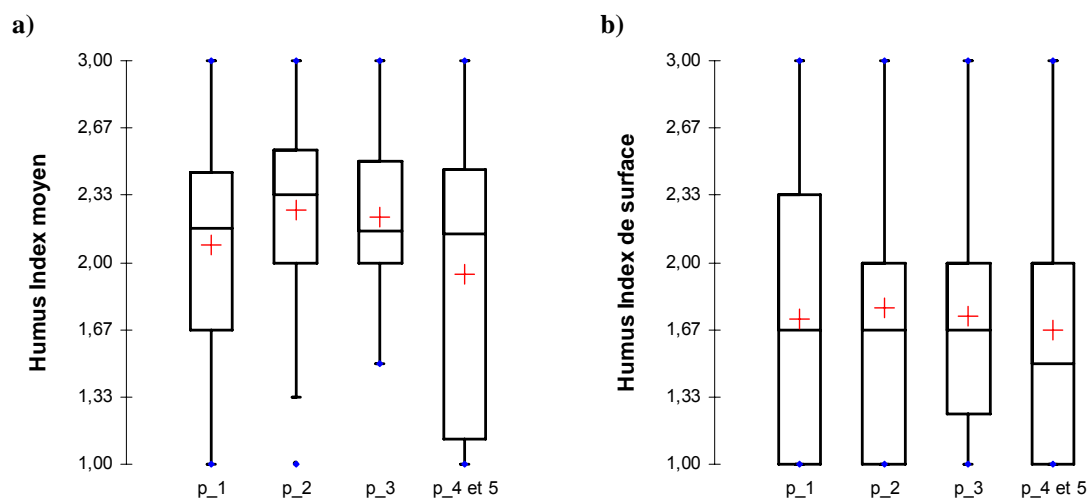


Figure 19 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par profondeur des sols
1 : Profondeur supérieur à 1m (N = 45) ; **2** : Entre 80 et 100 cm (N = 24) ;
3 : Entre 60 et 80 cm (N = 20) ; **4 et 5** : Entre 20 et 60 cm (N = 10)

3.5 Humus Index et année de prélèvement

Les prélèvements des sites RMQS *BioDiv* ayant été réalisés sur deux années 2006 et 2007, il est intéressant de vérifier l'homogénéité des valeurs entre les deux années. Pour cela des tests de Mann Whitney sont réalisés. Les résultats sont illustrés par des boîtes à moustaches.

Les résultats montrent qu'il n'existe **pas de différences significatives entre les deux années 2006 et 2007** pour les valeurs d'Humus Index moyen et de surface (Figure 20).

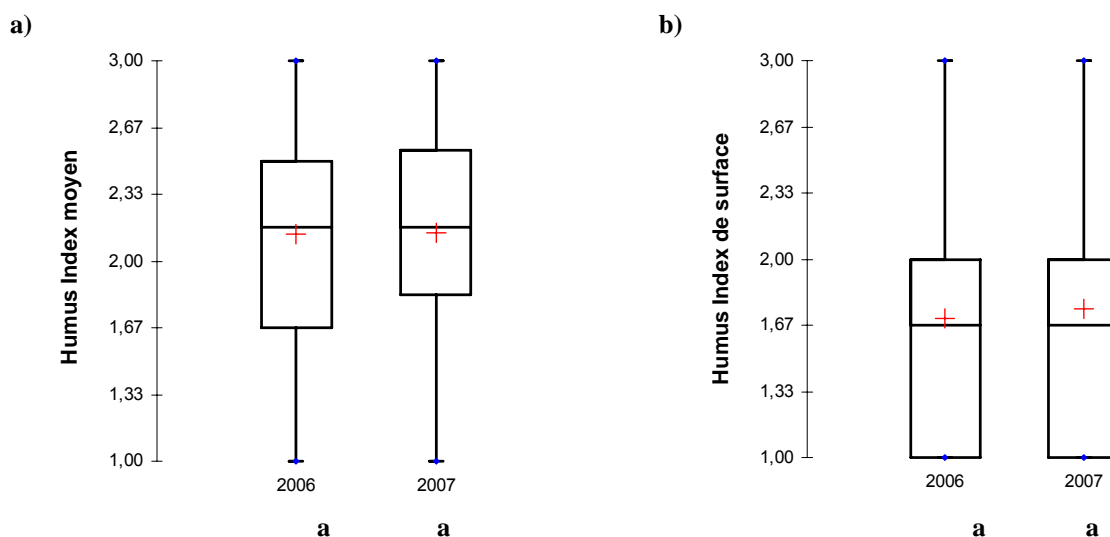


Figure 20 : Humus Index par année de prélèvement 2006-2007

a) Humus Index moyen ($U = 1100,5$; $p = 0,834$) et b) Humus Index de surface ($U = 1094,5$; $p = 0,866$)
2006 ($N = 32$), 2007 ($N = 67$)

Les lettres identiques indiquent qu'il n'y a pas de différence entre les deux années

SYNTHESE / DISCUSSION

L'Humus Index est un paramètre assez synthétique, l'Humus Index de surface semblant plus approprié que l'Humus Index moyen (calculé sur l'ensemble des niveaux prospectés pour la mésofaune) pour comparer les sites entre eux. Cependant le faible nombre de valeurs qu'il peut prendre en milieu agricole (absence de structuration par la faune, structuration par les enchytréides, structuration par les vers de terre) le rend difficilement utilisable d'un point de vue statistique, limitant ainsi les analyses possibles, notamment géostatistiques.

Cet indice n'est pas affecté par la variabilité inter-annuelle, ce qui témoigne de sa robustesse par rapport aux changements climatiques sur le court terme, ce qui est à relier à son caractère synthétique.

On observe une structuration spatiale à faible distance, qui peut s'expliquer par le lien observé avec les paramètres décrivant les propriétés physico-chimiques des sols, notamment la granulométrie et l'hydromorphie. Cependant, l'absence de lien avec le système d'occupation des sols et les pratiques agricoles indique, jointe à la sensibilité de l'Humus Index vis-à-vis de la granulométrie, indique que son utilisation en milieu agricole devrait être restreinte à des substrats de même nature texturale. Il s'avère donc peu satisfaisant à l'échelle régionale.

Table des illustrations

Figure 1 : Groupes biologiques étudiés et équipes partenaires associées du programme RMQS BioDiv.....	2
Figure 2 : Statistiques descriptives (a), boîte à moustaches (b) et histogramme (c) de l'Humus Index moyen	10
Figure 3 : Statistiques descriptives (a), boîtes à moustaches (b) et histogramme (c) de l'Humus Index de surface ...	11
Figure 4 : Distribution conjointe de l'Humus Index moyen et de l'Humus Index de surface.....	12
Figure 5 : Corrélogramme (a) et variogramme (b) de l'Humus Index moyen.....	13
Figure 6 : Carte de l'Humus Index moyen	15
Figure 7 : Carte de l'Humus Index de surface	15
Figure 8 : Illustration des corrélations significatives.....	18
Figure 9 : Humus Index par (a) moyen et (b) de surface par « système d'occupation des sols »	19
Figure 10 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par occupation du sol	20
Figure 11 : Résultats des tests de Kruskal-Wallis et Mann-Whitney.....	21
Figure 12 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type de fertilisation	22
Figure 13 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type d'amendement et fertilisation organique.....	22
Figure 14 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type de travail du sol	23
Figure 15 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par présence ou non de traitements phytosanitaires.....	23
Figure 16 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type de matériaux parentaux.....	25
Figure 17 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par classe d'hydromorphie	25
Figure 18 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par type de sol.....	26
Figure 19 : Humus Index (a) moyen et (b) de surface par profondeur des sols.....	26
Figure 20 : Humus Index par année de prélèvement 2006-2007.....	27
Tableau 1 : Conditions de normalité des données d'Humus Index.....	12
Tableau 2 : Corrélations de Spearman significatives entre Humus Index et paramètres physico-chimiques	17
Tableau 3 : Résultats des tests de Kruskal-Wallis avec les variables pédologiques	24

Bibliographie

- ADEME**, 2004 - Développement de bioindicateurs permettant de caractériser l'état du sol et son fonctionnement biologique. Appel à projets "Bioindicateurs".
- Dacey M.**, 1968 - A review of measures of contiguity for two and k-color maps. *Spatial Analysis: a Reader in Statistical Geography* (eds B. J. L. Berry & D. F. Marble), pp. 479±490. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Jolivet C.**, Boulonne L., Ratié C., 2006 - Manuel du Réseau de Mesures de la qualité des Sols. Edition 2006, Unité Infosol, INRA Orléans, France, 190p.
- Lalanne A.**, Bardat J., Lalanne-Amara F., Gautrot T., Ponge J.F., 2008 - Opposite responses of vascular plant and moss communities to changes in humus form, as expressed by the Humus Index. *Journal of Vegetation Science* 19: 645-652.
- Moran P.A.P.**, 1948 - The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society*. 10:243-251.
- Moran P.A.P.**, 1950 - Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*. 37: 17-23.
- Ponge J.F.**, Chevalier R., 2006 - Humus Index as an indicator of forest stand and soil properties. *Forest Ecology and Management* 23: 165–175.
- Ponge J.F.**, Chevalier R., Lousot P., 2002 - Humus Index: an Integrated tool for the assessment of forest floor and topsoil properties. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1996-2001.
- Topoliantz S.**, Ponge J.F., Viaux P., 2000 - Earthworm and enchytraeid activity under different arable farming systems, as exemplified by biogenic structures. *Plant and Soil* 225: 39-51.