

# Comparaison de fonctions de pédotransfert nationales et européennes pour prédire les propriétés de rétention en eau des sols

H. Al Majou<sup>(1),(2)</sup>, A. Bruand<sup>(1)</sup>, O. Duval<sup>(3)</sup> et I. Cousin<sup>(3)</sup>

- (1) Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), UMR 6113 CNRS - Université d'Orléans, 1A Rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cedex 2, France
- (2) Département des Sciences du Sol, Faculté Agronomique, Université de Damas, PO Box 30621, Damas, Syrie
- (3) INRA, UR0272 Science du sol, Centre de Recherche d'Orléans, BP20619, 45166 Olivet Cedex, France

## RÉSUMÉ

Parmi les nombreuses fonctions de pédotransfert (FPT) qui ont été développées depuis plusieurs dizaines d'années, les classes de fonctions de pédotransfert (CFPT) n'ont fait l'objet que d'un nombre très limité d'études car leurs performances sont généralement considérées comme étant très limitées. A l'opposé, les fonctions de pédotransfert continues (FPTC), qui permettent une prédiction des propriétés de rétention en eau en rendant compte de façon continue de la variation des caractéristiques de composition du sol, ont fait l'objet de nombreux travaux. Dans cette étude, nous discutons les performances de CFPT et FPTC établies à partir de la base de données nationale SOLHYDRO 1.0 et nous les comparons à celles obtenues avec des CFPT et FPTC établies avec la base de données européenne HYPRES.

Les résultats montrent que, excepté pour les CFPT développées avec la base européenne HYPRES, les biais obtenus sont faibles à très faibles ( $-0,013 \leq \text{EMP} \leq 0,016 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ). Il n'y a pas, par conséquent, de différence sensible de qualité des fonctions de pédotransfert en terme de biais de prédiction en fonction des CFPT et FPTC utilisées. Les CFPT texturales développées avec SOLHYDRO 1.0 qui sont de simples jeux de valeurs moyennes de teneur en eau volumique pour chaque classe de texture conduisent à des prédictions de qualité analogue à celle obtenue avec les autres CFPT et FPTC testées, celles-ci étant toutes plus sophistiquées et plus exigeantes quant au nombre et à la nature des caractéristiques de sols requises par la prédiction. Concernant cette fois la précision, des différences importantes apparaissent en fonction des CFPT et FPTC utilisées. On enregistre une meilleure précision avec les CFPT et FPTC développées avec la base de données SOLHYDRO 1.0 ( $0,038 \leq \text{ETP} \leq 0,045 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) par rapport à celle enregistrée avec les CFPT et FPTC développées avec HYPRES ( $0,050 \leq \text{ETP} \leq 0,060 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ). De telles valeurs de précision n'en demeurent pas moins faibles quelle que soit la base de données utilisée. Enfin, concernant l'apport de la prise en compte couplée par des CFPT de la composition granulométrique et de la structure, par l'intermédiaire respectivement de la texture et de la densité apparente, les résultats obtenus dans cette étude ne montrent pas d'amélioration très sensible de la prédiction comme permettaient de l'envisager les résultats enregistrés antérieurement.

## Mots clés

Texture, densité apparente, structure, base de données, horizon, biais, précision

**SUMMARY****COMPARISON OF FRENCH AND EUROPEAN PTFs FOR PREDICTION OF SOIL WATER RETENTION CHARACTERISTICS**

Among the numerous pedotransfer functions (PTFs) that were developed, class-PTFs received little attention because their accuracy is considered as limited. On the other hand, continuous-PTFs that enable prediction of the water retention properties by taking into account continuously the variation of basic soil properties were widely studied. In this study, we analyse the performance of class-PTFs (Tables 2 and 3) and continuous-PTFs (Table 4) developed with the French soil database SOLHYDRO 1.0 (Table 1). We compare their performance with those recorded with the more sophisticated class-PTFs and continuous-PTFs developed with the European database HYPRES that gather together hydraulic properties of European soils.

Results showed that the class-PTFs and continuous-PTFs established with SOLHYDRO (Annex I and II) led to better or similar prediction performance than the one recorded respectively with class-PTFs and continuous-PTFs established with HYPRES. A greater quality of the prediction was particularly recorded for the precision of the prediction and would be related to the larger range of soil types and characteristics in HYPRES than in SOLHYDRO when compared to the variation in the test data set. Among the class-PTFs studied, the simplest ones, i.e. the textural class-PTFs led to pretty good quality of prediction (bias =  $-0.003 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  and precision =  $0.047 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) with respect to the high availability of the basic soil data required to use them. Indeed, the texture in a triangle comprising five classes was the only one information required for stratification. Finally, taking into account both the texture and structure using the texturo-structural class-PTFs did not decrease the bias and slightly increased the precision.

Thus, our results showed that simple class-PTFs should be still considered as valuable tools for predicting the water retention properties of soils, particularly at scales for which semi-quantitative or qualitative basic characteristics such as the texture are the only characteristics available.

**Key-words**

Texture, bulk density, structure, data base, horizon, bias, precision

**RESUMEN****COMPARACIÓN DE LAS FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA NACIONALES Y EUROPEAS PARA PREDECIR LAS PROPIEDADES DE RETENCIÓN EN AGUA DE LOS SUELOS.**

En las numerosas funciones de pedotransferencias que fueron desarrolladas desde varios decenos de años, se hizo muy pocos estudios sobre las clases de funciones de pedotransferencias (CFPT) porque sus resultados generalmente son considerados como muy limitados. Al contrario, las funciones de pedotransferencias continuas (FPTC), que permiten una predicción de las propiedades de retención en agua, y que dan cuenta de manera continua de la variación de las características de la composición del suelo, hicieron el objeto de numerosos estudios. En este estudio, discutimos de los resultados de CFPT y FPTC establecidos a partir de la base de datos nacional SOLHYDRO 1.0 y las comparamos a los obtenidos con CFPT y FPTC establecidas con la base de datos europea HYPRES.

Los resultados muestran que, excepto para las CFPT desarrolladas con la base europea HYPRES, las variaciones son pequeñas a muy pequeñas ( $-0,013 \leq \text{EMP} \leq 0,016 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ). No hay, por lo tanto, diferencia sensible de calidad de las funciones de pedotransferencia en términos de variaciones de predicción en función de las CFPT y FPTC usadas. Las CFPT de textura desarrolladas con SOLHYDRO 1.0 que son simplemente juegos de valores medios de contenidos en agua volumétrica para cada clase de textura conducen a predicciones de calidad análoga a la obtenida con las otras CFPT y FPTC probadas, estas siendo todas más sofisticadas y más exigentes en cuanto al número y a la naturaleza de las características de los suelos requeridas por la predicción. Diferencias importantes de precisión aparecen en función de las CFPT y FPTC desarrolladas con SOLHYDRO 1.0 ( $0,038 \leq \text{ETP} \leq 0,045 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) en relación con la registradas con HYPRES ( $0,050 \leq \text{ETP} \leq 0,060 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ). Tales valores de precisión quedan por lo menos pequeños cualquiera que sea la base de datos usada. En fin, por lo que se refiere al aporte de la toma en cuenta acoplada por las CFPT de la composición granulométrica y de la estructura, por el intermediario respectivamente de la textura y de la densidad aparente, los resultados obtenidos en este estudio no muestran mejoramiento muy sensible de la predicción como los resultados registrados anteriormente permitirán preverlo.

**Palabras clave**

Textura, densidad aparente, estructura, base de datos, horizonte, variaciones, precisión

Les modèles qui simulent les transferts couplés d'eau et de solutés dans les sols requièrent la connaissance des propriétés hydriques de leurs différents horizons. Ces propriétés ne sont généralement connues que pour un nombre restreint de sols en raison de la lourdeur des protocoles utilisés pour leur détermination. C'est pourquoi des outils de prédiction ont été développés. Ces outils, dénommés « fonctions de pédotransfert » (FPT), relient les propriétés hydriques à des propriétés du sol beaucoup plus aisément accessibles comme la teneur en argile, la teneur en carbone organique ou encore la densité apparente (Bouma et van Lanen, 1987). De nombreuses fonctions de pédotransfert ont été développées pour les propriétés de rétention en eau durant les trois dernières décennies (Wösten *et al.*, 2001).

Les FPT ont été le plus souvent établies par régression multilinéaire et correspondent alors à autant de modèles empiriques décrivant de façon continue (FPTC) la relation pouvant exister entre les caractéristiques du sol (composition granulométrique, teneur en carbone organique ou matière organique, densité apparente) et ses propriétés de rétention en eau. Des FPTC ont aussi été établies entre les caractéristiques du sol et les paramètres d'un modèle de courbe décrivant la variation de la teneur en eau ( $\theta$ ) en fonction du potentiel (Bastet *et al.*, 1999 ; Wösten *et al.*, 2001 ; Pachepsky *et al.*, 2006). En outre, de telles FPTC permettent d'estimer la teneur en eau de façon continue aux différentes valeurs de potentiel (e.g. Rawls *et al.*, 1982 ; 1977 ; Gupta et Larson, 1979 ; Rawls *et al.*, 1991), ou d'estimer les paramètres du modèle de courbe qui décrit l'évolution de ( $\theta$ ) en fonction du potentiel (Vereecken *et al.*, 1989 ; Minasny *et al.* 1999 ; Wösten *et al.*, 2001).

Les classes de fonctions de pédotransfert (CFPT), quant à elles, permettent de faire correspondre des propriétés hydriques à des classes de composition des sols. Elles sont souvent présentées comme conduisant à une estimation de moins bonne qualité par rapport à celle obtenue avec des FPTC (Wösten *et al.*, 1995). La plupart des CFPT fournissent des teneurs en eau moyennes à des valeurs particulières de potentiel ou une courbe des teneurs en eau moyennes pour chaque classe de texture (Nemes, 2002 ; Bruand *et al.*, 2003 et 2004). En raison de la gamme de variation de la distribution des particules, de la minéralogie de l'argile, de la nature des matières organiques et de l'état structural dans chaque classe de texture, les propriétés de rétention en eau des différents sols peuvent varier significativement (Lilly *et al.*, 1999 ; Wösten *et al.*, 1999). En dépit de leur possible imprécision, les CFPT restent des outils faciles à utiliser car elles exigent peu d'informations sur le sol. Elles sont par conséquent bien adaptées à prédire les propriétés de rétention en eau à l'échelle d'un pays ou d'un continent, échelles auxquelles les données disponibles sur les sols sont le plus souvent au mieux des caractéristiques moyennes ou des appartenances à des classes de composition.

Devant le nombre élevé de CFPT et FPTC proposé dans la littérature, il est aujourd'hui tentant d'utiliser des CFPT et FPTC pour des sols du territoire français alors qu'elles ont été établies à partir de sols n'appartenant pas au territoire français. Or, Nemes

*et al.*, (2003) ont montré que l'utilisation de CFPT et FPTC établies à une échelle donnée conduisent à des prédictions de qualité dégradée quand elles sont appliquées à une plus petite échelle, c'est-à-dire pour des sols correspondant à une gamme de variabilité plus grande. Tomasella *et al.*, (2003) ont aussi montré que lorsque des CFPT ou FPTC établies à une échelle donnée sont appliquées à la même échelle mais en revanche pour des sols de nature très différente, la qualité des prédictions est inférieure à celle enregistrée lorsqu'elles sont appliquées à des sols de nature proche. On peut alors s'interroger sur la pertinence de CFPT et FPTC établies à partir de sols localisés en dehors du territoire français lorsqu'elles sont utilisées pour des sols du territoire français. Dans cette étude, notre objectif est de discuter pour des sols du territoire français la validité de CFPT et FPTC établies à partir de la base de données SOLHYDRO 1.0 elle-même composée d'horizons issus de sols du territoire français, et de comparer les résultats obtenus avec ceux enregistrés avec des CFPT et FPTC développées à partir de la base de données européenne HYPRES (Wösten *et al.*, 1999).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### La base de données SOLHYDRO 1.0

La base de données SOLHYDRO 1.0 rassemble 320 horizons qui ont été prélevés dans des sols de type Cambisol, Luvisol, Planosol, Albeluvisol, Podzol et Fluvisol (ISS Working Group R.B., 1998), ces sols étant localisés principalement dans le bassin de Paris. Pour chacun de ces horizons, la composition granulométrique, la densité apparente, la teneur en carbone organique, la teneur en  $\text{CaCO}_3$  et la capacité d'échange cationique ainsi que les teneurs en eau volumiques aux 7 valeurs de potentiel -10 hPa ( $\theta_{1,0}$  à pF = 1,0), -33 hPa ( $\theta_{1,5}$  à pF = 1,5), -100 hPa ( $\theta_{2,0}$  à pF = 2,0), -330 hPa ( $\theta_{2,5}$  à pF = 2,5), -1000 hPa ( $\theta_{3,0}$  à pF = 3,0), -3300 hPa ( $\theta_{3,5}$  à pF = 3,5) et -15000 hPa ( $\theta_{4,2}$  à pF = 4,2), sont connues (Bruand *et al.*, 2004). La base SOLHYDRO 1.0 comprend 90 horizons de surface A ou L (de 0 à 30 cm de profondeur) et 230 horizons de subsurface E, B et C (> 30 cm de profondeur) (tableau 1).

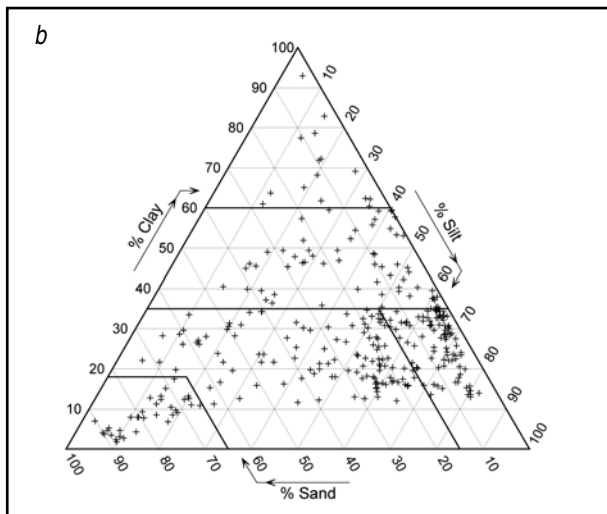
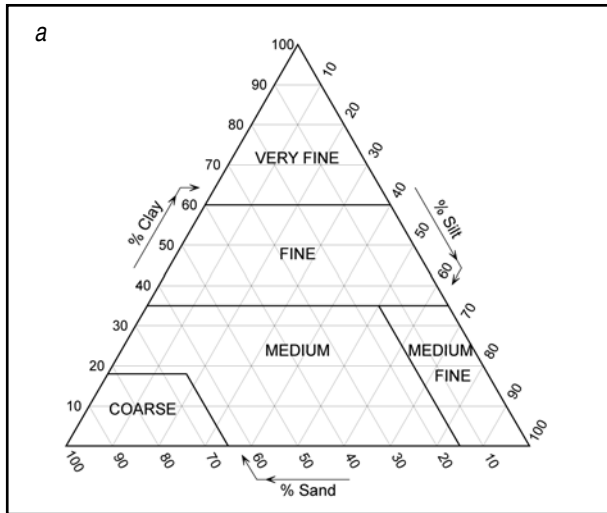
### La base de données de validation

Un ensemble de 107 horizons comprenant 39 horizons de surface A et L et 68 horizons de subsurface E, B et C a été constitué afin de comparer la qualité des prédictions effectuées avec les CFPT et FPTC développées à partir de SOLHYDRO 1.0 et de celles établies à partir de la base de données HYPRES (tableau 1) (Wösten *et al.*, 1999). Les horizons appartiennent à des sols de type Cambisols, Luvisols et Fluvisols (ISS Working Group R.B., 1998). Les sols échantillonnés sont situés dans le sud du bassin de Paris. Les caractéristiques physico-chimiques et les

**Tableau 1** - Caractéristiques des horizons utilisés pour établir les classes de fonctions de pédotransfert et les fonctions de pédotransfert continues à partir de la base de données SOLHYDRO 1.0 et caractéristiques du jeu de données utilisé pour la validation.

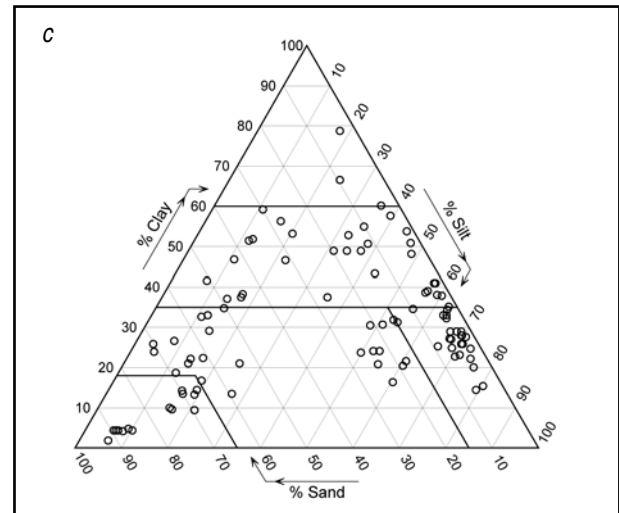
**Table 1** - Characteristics of the horizons of the database SOLHYDRO 1.0 and of the set of horizons used to test the class- and continuous-PTFs studied.

	Granulométrie (%)			CO g.kg <sup>-1</sup>	CaCO <sub>3</sub> g.kg <sup>-1</sup>	CEC Cmol.kg <sup>-1</sup>	D <sub>a</sub> g.cm <sup>-3</sup>	Teneur en eau volumique (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )						
	<2 µm	2-50 µm	50- 2000 µm					θ <sub>1.0</sub>	θ <sub>1.5</sub>	θ <sub>2.0</sub>	θ <sub>2.5</sub>	θ <sub>3.0</sub>	θ <sub>3.5</sub>	θ <sub>4.2</sub>
Horizons utilisés pour établir les classes de fonctions de pédotransfert (CFPT) et fonctions de pédotransfert continues (FPTC)														
Tous horizons (n = 320)														
moyenne	28.9	46.2	24.9	5.7	65	14.3	1.53	0.350	0.335	0.316	0.289	0.257	0.220	0.179
écart type	15.1	20.8	23.9	4.9	189	8.0	0.15	0.067	0.065	0.070	0.070	0.075	0.074	0.070
minimum	1.9	2.8	0.1	0.0	0.0	0.8	1.00	0.123	0.100	0.080	0.056	0.048	0.033	0.013
maximum	92.9	82.1	90.1	28.8	982	52.8	1.84	0.606	0.596	0.586	0.558	0.510	0.462	0.370
Horizons de surface A et L (n = 90)														
moyenne	21.2	49.0	29.8	11.0	47	14.3	1.48	0.331	0.315	0.294	0.268	0.233	0.187	0.141
écart type	11.8	23.2	28.1	4.8	131	7.6	0.14	0.062	0.061	0.066	0.068	0.070	0.062	0.050
minimum	3.2	6.4	2.2	2.5	0.0	3.4	1.10	0.123	0.100	0.095	0.077	0.066	0.040	0.026
maximum	63.7	82.1	89.9	28.8	544	39.1	1.77	0.469	0.459	0.404	0.372	0.375	0.319	0.259
Horizons de profondeur E, B et C (n = 230)														
moyenne	32.0	45.0	23.0	3.6	71	14.2	1.55	0.357	0.343	0.325	0.297	0.267	0.233	0.194
écart type	15.3	19.8	21.7	3.0	207	8.2	0.15	0.068	0.068	0.072	0.072	0.076	0.075	0.071
minimum	1.9	2.8	0.1	0.0	0.0	0.8	1.00	0.134	0.103	0.080	0.056	0.048	0.033	0.013
maximum	92.9	79.8	90.1	28.0	982	52.8	1.84	0.606	0.596	0.586	0.558	0.510	0.462	0.370
Horizons utilisés pour tester les CFPT et FPTC développées à partir de SOLHYDRO 1.0 et HYPRES														
Tous horizons (n = 107)														
moyenne	30.2	40.6	29.2	6.6	38	15.8	1.51	0.356	0.332	0.312	0.287	0.261	0.224	0.202
écart type	15.4	24.3	28.6	5.3	134	10.8	0.13	0.075	0.079	0.082	0.084	0.086	0.083	0.080
minimum	1.9	4.1	1.6	0.0	0.0	0.6	1.10	0.161	0.121	0.099	0.072	0.045	0.041	0.033
maximum	78.7	80.3	91.8	28.2	656	50.2	1.77	0.534	0.498	0.482	0.457	0.440	0.396	0.369
Horizons de surface A et L (n = 39)														
moyenne	25.1	46.7	28.2	12.0	34	15.3	1.46	0.364	0.334	0.312	0.286	0.256	0.208	0.186
écart type	13.4	24.9	29.2	4.7	106	10.9	0.12	0.080	0.083	0.084	0.081	0.085	0.077	0.075
minimum	4.1	6.7	1.8	1.2	0.0	10.0	1.13	0.178	0.151	0.121	0.108	0.091	0.075	0.063
maximum	56.1	80.3	88.9	28.2	432	46.4	1.70	0.534	0.490	0.477	0.442	0.433	0.374	0.339
Horizons de profondeur E, B et C (n = 68)														
moyenne	33.1	37.2	29.7	3.6	41	16.2	1.54	0.350	0.328	0.310	0.286	0.263	0.231	0.210
écart type	15.9	23.5	28.5	2.5	148	10.8	0.13	0.071	0.077	0.081	0.086	0.086	0.084	0.080
minimum	1.9	4.1	1.6	0	0.0	0.6	1.10	0.161	0.121	0.099	0.072	0.045	0.041	0.033
maximum	78.7	75.9	91.8	14.7	656	50.2	1.77	0.513	0.498	0.482	0.457	0.440	0.396	0.369



**Figure 1** - Triangle de texture utilisé (CEC, 1985) (a), texture des horizons utilisés pour établir les classes de fonctions de pédotransfert (CFPT) (b) et de ceux utilisés pour tester leur validité (c).

**Figure 1** - Triangle of texture used (CEC, 1985) (a), texture of the horizons used to establish the class pedotransfer functions (PTFs) (b) and of those used to test their validity (c).



propriétés de rétention en eau ont aussi été déterminées avec les mêmes méthodes que celles utilisées pour SOLHYDRO 1.0.

### Les CFPT développées avec SOLHYDRO 1.0 et HYPRES

Plusieurs jeux de CFPT ont été établis à partir de SOLHYDRO 1.0. Des CFPT ont ainsi été établies :

- pour chaque classe de texture dans le triangle de texture européen (CEC, 1985) (figure 1) en ne tenant compte que de la texture (CFPT texturales) (tableau 2) ;
- puis en séparant les horizons de surface A et L, et ceux de sub-surface E, B et C au sein de chaque classe de texture (tableau 2). Des CFPT ont ensuite été établies :
- en tenant compte à la fois de la texture et de la densité apparente (CFPT texturo-structurales) (tableau 3) ;
- puis tout en séparant une nouvelle fois les horizons de surface

A et L, et ceux de sub-surface E, B et C au sein de chaque classe couplant texture et densité apparente (tableau 3). Chaque jeu de CFPT est alors composé de 10 ensembles de 7 valeurs de teneurs en eau moyenne (5 pour les horizons de surface et 5 pour ceux de sub-surface).

Un jeu de CFPT développé par Wösten *et al.* (1999) à partir de la base de données européenne HYPRES a aussi été utilisé. Pour chaque classe de texture dans le triangle de texture européen (CEC, 1985), Wösten *et al.* (1999) ont proposé des valeurs pour les paramètres du modèle de courbe de rétention en eau de van Genuchten (1980) qui ont été obtenues en utilisant le programme RETC (van Genuchten *et al.*, 1991). La teneur en eau volumique aux 7 valeurs de potentiel -10 hPa ( $\theta_{1,0}$ ), -33 hPa ( $\theta_{1,5}$ ), -100 hPa ( $\theta_{2,0}$ ), -330 hPa ( $\theta_{2,5}$ ), -1000 hPa ( $\theta_{3,0}$ ), -3300 hPa ( $\theta_{3,5}$ ) et -15000 hPa ( $\theta_{4,2}$ ) a été calculée pour chaque horizon en utilisant la courbe de rétention en eau.

### Les FPTC développées avec SOLHYDRO 1.0 et HYPRES

Des FPTC ont été développées à partir de la base de données SOLHYDRO 1.0 par régression multilinéaire pour les 7 valeurs de teneur en eau  $\theta_{1,0}$ ,  $\theta_{1,5}$ ,  $\theta_{2,0}$ ,  $\theta_{2,5}$ ,  $\theta_{3,0}$ ,  $\theta_{3,5}$ ,  $\theta_{4,2}$ . De telles FPTC ont été fréquemment utilisées dans la littérature. Dans cette étude, elles sont de la forme :

**Tableau 2** - Classes de fonctions de pédotransfert (CFPT) texturales développées avec SOLHYDRO 1.0 sans et après stratification par type d'horizon.

**Table 2** - Textural class-PTFs developed with SOLHYDRO 1.0 without and after stratification according to the type of horizon.

	Teneur en eau volumique (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )						
	$\theta_{1.0}$	$\theta_{1.5}$	$\theta_{2.0}$	$\theta_{2.5}$	$\theta_{3.0}$	$\theta_{3.5}$	$\theta_{4.2}$
Tous horizons (n = 320)							
Très Fine (n = 15)	0.455	0.437	0.424	0.402	0.385	0.357	0.322
Fine (n = 60)	0.399	0.388	0.373	0.351	0.331	0.301	0.254
Medium Fine (n = 96)	0.356	0.342	0.327	0.298	0.254	0.210	0.173
Medium (n = 117)	0.334	0.320	0.302	0.273	0.242	0.203	0.156
Grossière (n = 32)	0.249	0.224	0.181	0.149	0.120	0.100	0.076
Horizons de surface A et L (n = 90)							
Très Fine (n = 1)	0.439	0.411	0.393	0.367	0.341	0.308	0.259
Fine (n = 6)	0.411	0.384	0.369	0.345	0.339	0.292	0.238
Medium Fine (n = 35)	0.350	0.335	0.322	0.297	0.249	0.198	0.152
Medium (n = 28)	0.335	0.323	0.308	0.287	0.256	0.199	0.140
Grossière (n = 20)	0.264	0.241	0.200	0.164	0.133	0.113	0.086
Horizons de subsurface E, B et C (n = 230)							
Très Fine (n = 14)	0.456	0.438	0.426	0.404	0.389	0.361	0.327
Fine (n = 54)	0.398	0.389	0.373	0.352	0.330	0.302	0.256
Medium fine (n = 61)	0.360	0.347	0.330	0.298	0.257	0.216	0.185
Medium (n = 89)	0.334	0.319	0.300	0.269	0.238	0.205	0.161
Grossière (n = 12)	0.223	0.196	0.149	0.125	0.099	0.078	0.059

$$\theta = a + (bx\%Ar) + (cx\%Li) + (dx\%CO) + (exD_a)$$

avec  $\theta$ , la teneur en eau volumique à une valeur de potentiel donnée,  $\%Ar$  et  $\%Li$ , le pourcentage de la teneur en argile et en limon,  $\%CO$ , la teneur en carbone organique,  $D_a$  la densité apparente de l'horizon et  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  et  $e$ , les coefficients de la régression multilinéaire. Les valeurs des paramètres pour chaque valeur de  $\theta$  sont données dans le *tableau 4*.

Les FPTC développées par Wösten *et al.* (1999) à partir de la base de données européenne HYPRES ont aussi été utilisées. Ces FPTC consistent en des relations entre chaque paramètre de la courbe de rétention en eau selon le modèle de van Genuchten (1980) et les caractéristiques de constitution de l'horizon (composition granulométrique, teneur en carbone organique, densité apparente et une variable prenant la valeur 0 ou 1 selon qu'il s'agit d'un horizon de surface ou de sub-surface). La teneur en eau volumique à sept valeurs de potentiel ( $\theta_{1.0}$ ,  $\theta_{1.5}$ ,  $\theta_{2.0}$ ,  $\theta_{2.5}$ ,  $\theta_{3.0}$ ,  $\theta_{3.5}$ ,  $\theta_{4.2}$ ) a ainsi été calculée pour chaque horizon en utilisant ces FPTC.

## Analyse de la performance des CFPT et FPTC

Pour discuter la validité globale des fonctions de pédotransfert utilisées, nous avons calculé l'erreur moyenne de prédiction (EMP) et l'écart type de prédiction (ETP) pour l'ensemble des horizons considérés et pour les différents potentiels comme suit :

$$EMP_{moy} = \frac{1}{n' \cdot n} \sum_{j=1}^{n'} \sum_{i=1}^n (\theta_{p,j,i} - \theta_{m,j,i})$$

$$ETP_{moy} = \left\{ \frac{1}{n' \cdot n} \sum_{j=1}^{n'} \sum_{i=1}^n [(\theta_{p,j,i} - \theta_{m,j,i}) - EMP_{moy}]^2 \right\}^{1/2}$$

avec  $n$ , nombre de points de potentiel pour chaque horizon ( $n=7$  dans le cas de cette étude),  $n'$ , le nombre d'horizons considérés ( $n' \leq 107$  dans cette étude),  $\theta_{p,j,i}$  teneur en eau volumique prédite au potentiel  $i$  pour l'horizon  $j$ ,  $\theta_{m,j,i}$  teneur en eau volumique mesurée au potentiel  $i$  pour l'horizon  $j$ . La prédiction est d'autant

**Tableau 3** - Classes de fonctions de pédotransfert (CFPT) texturo-structurales développées avec SOLHYDRO 1.0 sans et après stratification en fonction du type d'horizon.

**Table 3** - Texturo-structural class-PTFs developed with SOLHYDRO 1.0 without and after stratification according to the type of horizons.

		Teneur en eau volumique (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )						
		$\theta_{1.0}$	$\theta_{1.5}$	$\theta_{2.0}$	$\theta_{2.5}$	$\theta_{3.0}$	$\theta_{3.5}$	$\theta_{4.2}$
Tous horizons (n = 320)								
Très Fine (n = 15)	1.10 ≤ D <sub>a</sub> < 1.30	0.498	0.473	0.451	0.423	0.405	0.371	0.330
	1.30 ≤ D <sub>a</sub> < 1.50	0.459	0.439	0.428	0.405	0.385	0.352	0.328
	1.50 ≤ D <sub>a</sub> < 1.70	0.359	0.359	0.361	0.353	0.347	0.340	0.294
Fine (n = 32)	1.00 ≤ D <sub>a</sub> < 1.20	0.519	0.499	0.494	0.461	0.431	0.373	0.281
	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.452	0.443	0.421	0.385	0.373	0.340	0.271
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.391	0.378	0.361	0.344	0.321	0.289	0.250
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.338	0.334	0.325	0.307	0.291	0.275	0.244
Medium Fine (n = 96)	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.348	0.338	0.323	0.291	0.232	0.188	0.153
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.359	0.343	0.328	0.298	0.258	0.211	0.175
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.353	0.345	0.329	0.303	0.263	0.230	0.190
Medium (n = 117)	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.354	0.337	0.314	0.278	0.245	0.193	0.140
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.346	0.329	0.310	0.275	0.235	0.193	0.146
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.320	0.307	0.293	0.270	0.248	0.214	0.167
	1.80 ≤ D <sub>a</sub> < 2.00	0.296	0.289	0.274	0.266	0.258	0.231	0.186
Grossière (n = 32)	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.241	0.210	0.164	0.135	0.106	0.093	0.075
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.253	0.231	0.188	0.156	0.126	0.103	0.077
Horizons de surface A et L (n = 90)								
Très Fine (n = 1)	1.10 ≤ D <sub>a</sub> < 1.30	0.439	0.411	0.393	0.367	0.341	0.308	0.259
Fine (n = 6)	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.422	0.388	0.370	0.347	0.348	0.293	0.240
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.401	0.379	0.367	0.344	0.331	0.290	0.235
Medium Fine (n = 35)	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.346	0.336	0.321	0.293	0.232	0.187	0.152
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.353	0.335	0.322	0.299	0.261	0.206	0.153
Medium (n=28)	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.364	0.352	0.330	0.296	0.261	0.204	0.144
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.338	0.324	0.311	0.299	0.266	0.205	0.145
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.301	0.291	0.279	0.260	0.236	0.184	0.127
Grossière (n=20)	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.241	0.207	0.164	0.135	0.106	0.092	0.075
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.284	0.269	0.229	0.188	0.155	0.131	0.095
Horizons de subsurface E, B et C (n = 230)								
Très Fine (n = 14)	1.10 ≤ D <sub>a</sub> < 1.30	0.510	0.486	0.462	0.434	0.418	0.384	0.345
	1.30 ≤ D <sub>a</sub> < 1.50	0.459	0.439	0.428	0.405	0.385	0.352	0.328
	1.50 ≤ D <sub>a</sub> < 1.70	0.359	0.359	0.361	0.353	0.347	0.340	0.294
Fine (n = 54)	1.00 ≤ D <sub>a</sub> < 1.20	0.559	0.548	0.541	0.506	0.476	0.418	0.305
	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.446	0.436	0.415	0.377	0.358	0.332	0.266
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.387	0.376	0.359	0.343	0.319	0.289	0.252
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.338	0.334	0.325	0.307	0.291	0.275	0.244
Medium Fine (n = 61)	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.352	0.343	0.325	0.285	0.240	0.206	0.184
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.363	0.348	0.331	0.299	0.258	0.213	0.184
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.353	0.345	0.329	0.303	0.263	0.230	0.190
Medium (n = 89)	1.20 ≤ D <sub>a</sub> < 1.40	0.340	0.317	0.293	0.254	0.222	0.179	0.134
	1.40 ≤ D <sub>a</sub> < 1.60	0.349	0.331	0.309	0.267	0.224	0.189	0.146
	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.324	0.311	0.295	0.272	0.251	0.220	0.175
	1.80 ≤ D <sub>a</sub> < 2.00	0.296	0.289	0.274	0.266	0.258	0.231	0.186
Grossière (n = 12)	1.60 ≤ D <sub>a</sub> < 1.80	0.223	0.196	0.149	0.125	0.099	0.078	0.059

**Tableau 4** - Coefficients des régressions multilinéaires et coefficients de détermination ( $R^2$ ) des fonctions de pédotransfert continues (FPTC) développées avec SOLHYDRO 1.0 sans et après stratification par le type d'horizon.

**Table 4** - Regression coefficients and coefficient of determination ( $R^2$ ) of the continuous-PTFs developed with SOLHYDRO 1.0 without and after stratification according to the type of horizon.

		Potentiel de l'eau (hPa)						
		-10	-33	-100	-330	-1000	-3300	-15000
Tous horizons (n = 320)	a	0.4701 ***	0.3556 ***	0.2620 ***	0.1301 ***	0.0184	-0.0504	-0.0786 **
	b	0.0026 ***	0.0029 ***	0.0034 ***	0.0038 ***	0.0045 ***	0.0047 ***	0.0045 ***
	c	0.0006 ***	0.0008 ***	0.0012 ***	0.0012 ***	0.0008 ***	0.0005 ***	0.0003 ***
	d	-0.0006	-0.0002	0.0002	0.0010	0.0017 ***	0.0012 **	0.0004
	e	-0.1447 ***	-0.0939 ***	-0.0647 ***	-0.0084	0.0398 *	0.0697 ***	0.0710 ***
	R <sup>2</sup>	0.59	0.64	0.69	0.74	0.77	0.82	0.86
Horizons de surface A et L (n = 90)	a	0.1553 *	0.1159	0.0204	-0.0722	-0.2026 ***	-0.1912 ***	-0.0737 *
	b	0.0023 ***	0.0023 ***	0.0027 ***	0.0033 ***	0.0044 ***	0.0045 ***	0.0038 ***
	c	0.0008 ***	0.0010 ***	0.0014 ***	0.0016 ***	0.0011 ***	0.0005 ***	0.0002 **
	d	0.0040 **	0.0041 ***	0.0041 ***	0.0037 ***	0.0044 ***	0.0037 ***	0.0020 ***
	e	0.0294	0.0384	0.0676 *	0.1032 ***	0.1613 ***	0.1463 ***	0.0672 ***
	R <sup>2</sup>	0.56	0.62	0.75	0.81	0.83	0.87	0.90
Horizons de subsurface E, B et C (n = 230)	a	0.5917 ***	0.5167 ***	0.4272 ***	0.2820 ***	0.1831 ***	0.0756 *	-0.0379
	b	0.0023 ***	0.0027 ***	0.0031 ***	0.0037 ***	0.0043 ***	0.0045 ***	0.0045 ***
	c	0.0006 ***	0.0008 ***	0.0011 ***	0.0010 ***	0.0007 ***	0.0005 ***	0.0004 ***
	d	-0.0023 *	-0.0026 **	-0.0023 *	-0.0020	-0.0018	-0.0014	1*10 <sup>-5</sup>
	e	-0.2113 ***	-0.1849 ***	-0.1564 ***	-0.0919 ***	-0.0502 *	-0.0006	0.0453 **
	R <sup>2</sup>	0.64	0.69	0.69	0.72	0.74	0.79	0.83

$\theta = a + (b \times \%Ar) + (c \times \%Li) + (d \times \%CO) + (e \times D_a)$  avec  $\theta$  teneur en eau volumique à une valeur de potentiel.

\*\*\* P = 0.001    \*\* P = 0.01    \* P = 0.05

moins biaisée que  $EMP_{moy}$  est proche de 0. Par ailleurs, les FPT surestiment la teneur en eau lorsque  $EMP_{moy}$  est positif et la sous-estiment lorsque  $EMP_{moy}$  est négatif. L'écart type (ETP) renseigne sur la précision de la prédiction, et cette précision est d'autant plus élevée que  $EMP_{moy}$  est faible.

## RÉSULTATS

### Validité des CFPT texturales et texturo-structurales développées avec SOLHYDRO 1.0 sans stratification par type d'horizon

Les CFPT texturales développées à partir de la base de données SOLHYDRO 1.0 conduisent à un très faible biais de prédiction (figure 2, Annexe I). L'utilisation des CFPT texturo-structurales n'améliorent pas le biais de prédiction déjà très faible

avec les CFPT texturales. La précision de la prédiction est en revanche légèrement améliorée lorsque l'on passe des CFPT texturales aux CFPT texturo-structurales. Les résultats enregistrés par classe de texture ne montrent pas d'amélioration nette du biais et de la précision lorsque l'on passe des CFPT texturales aux CFPT texturo-structurales.

### Validité des CFPT texturales et texturo-structurales développées avec SOLHYDRO 1.0 après stratification par type d'horizon

L'utilisation de CFPT texturales établies après stratification par le type d'horizon, c'est-à-dire en séparant les horizons de surface A et L d'une part, et des horizons de subsurface E, B et C, d'autre part, n'améliore pas la performance des CFPT (figures 3 et 4, Annexe II). En effet, les valeurs des EMP et ETP sont similaires avec et sans stratification en fonction du type d'horizon. Il en va de même avec les CFPT texturo-structurales (figures 3 et 4).



### Comparaison des CFPT développées avec SOLHYDRO 1.0 et HYPRES

La distinction des horizons de surface et de subsurface permet de comparer les performances des CFPT texturales et texturo-structurales développées à partir de la base de données SOLHYDRO 1.0 avec celles des CFPT établies par Wösten *et al.* (1999) à partir de la base de données européenne HYPRES. Les résultats montrent que le biais de prédiction est plus faible avec les CFPT texturales et texturo-structurales établies avec SOLHYDRO 1.0 que celui enregistré avec les CFPT établies avec la base de données HYPRES (figures 3 et 4, Annexe II). Les résultats montrent aussi que les CFPT texturales et texturo-structurales développées en utilisant la base de données SOLHYDRO 1.0 conduisent à une précision meilleure que celle obtenue avec les CFPT développées avec HYPRES.

Après avoir séparé les horizons de surface et ceux de profondeur, l'analyse par classe de texture montre que les biais enregistrés avec les CFPT texturales et texturo-structurales développées avec SOLHYDRO 1.0 sont similaires ou voisins pour les horizons appartenant à une même classe de texture (Annexe II). Il en va de même pour la précision. Les résultats montrent aussi que l'utilisation des CFPT développées avec la base de données HYPRES conduit à des résultats de qualité inférieure, excepté pour la classe Medium. En effet, excepté pour cette classe, le biais et la précision sont respectivement supérieurs et inférieurs à ceux enregistrés avec les CFPT texturales et texturo-structurales développées avec SOLHYDRO 1.0.

### Validité des FPTC développées avec SOLHYDRO 1.0

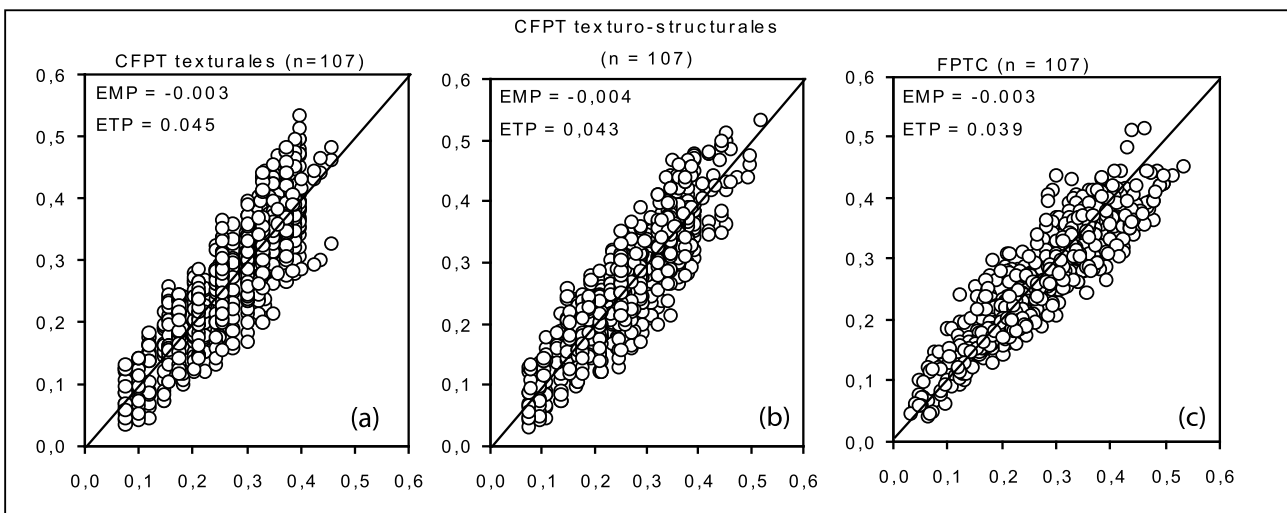
Les FPTC développées avec SOLHYDRO 1.0, qui sont des régressions multilinéaires, sous-estiment légèrement la teneur en eau ( $EMP = -0,003 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) (figure 2, Annexe I). Après stratification en fonction du type d'horizon, le biais d'estimation est plus élevé pour les horizons de surface A et L, comme pour les horizons de subsurface E, B et C. Le biais est d'ailleurs plus élevé pour les horizons de surface ( $EMP = -0,013 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) que pour les horizons de subsurface ( $EMP = 0,004 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) (figures 3 et 4). Ces différents biais d'estimation sont similaires à ceux enregistrés avec les CFPT texturales et texturo-structurales pour les horizons de surface A et L d'une part, et de subsurface E, B et C d'autre part.

### Comparaison des FPTC développées avec SOLHYDRO 1.0 et HYPRES

Les FPTC développées à partir de HYPRES conduisent à un biais qui est plus faible pour les horizons de surface que pour les horizons de profondeur. Ce biais est en valeur absolue inférieur pour les horizons de surface à celui obtenu avec les FPTC développées avec SOLHYDRO 1.0. Pour les horizons de subsurface, c'est l'opposé qui est enregistré. La précision enregistrée avec les FPTC développées avec SOLHYDRO 1.0 est en revanche supérieure à celle enregistrée avec les FPTC développées avec HYPRES, tant pour les horizons de surface que pour ceux de subsurface.

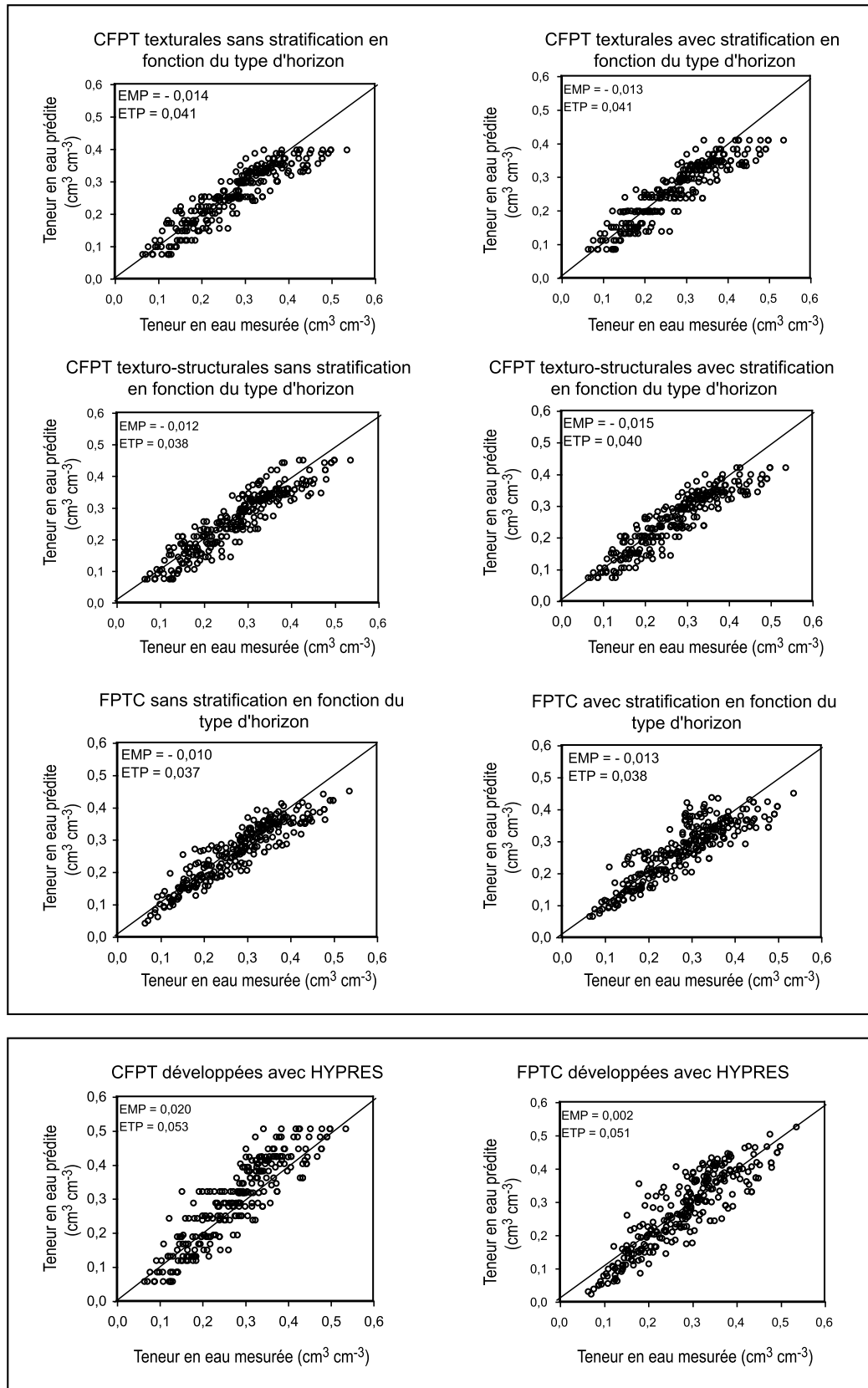
**Figure 2 -** Validité des classes de fonctions de pédotransfert (CFPT) texturales (a), des CFPT texturo-structurales (b) et des fonctions de pédotransfert continues (FPTC) (c) développées avec la base de données SOLHYDRO 1.0.

**Figure 2 -** Validity of the textural class-PTFs (a), texturo-structural PTFs (b) and continuous-PTFs (c) developed with SOLHYDRO 1.0.



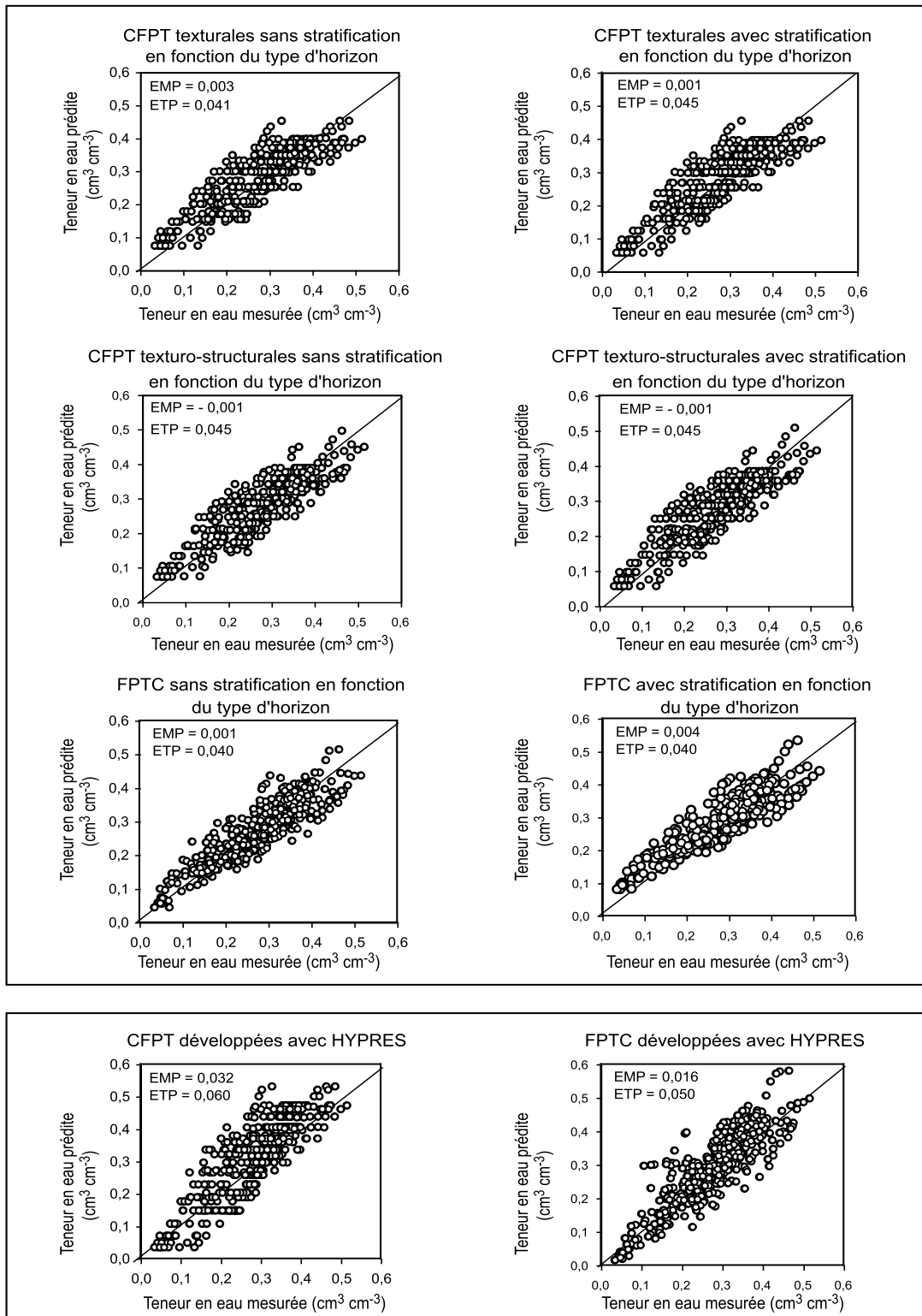
**Figure 3** - Validité des classes et fonctions de pédotransfert développées avec la base de données SOLHYDRO 1.0 et HYPRES pour les horizons de surface A, L (n = 39).

**Figure 3** - Validity of the class- and continuous-PTFs developed with SOLHYDRO 1.0 and HYPRES for topsoils (n = 39).



**Figure 4 -** Validité des classes et fonctions de pédotransfert développées avec la base de données SOLHYDRO 1.0 et HYPRES pour les horizons de subsurface E, B et C (n = 68).

**Figure 4 -** Validity of the class- and continuous-PTFs developed with SOLHYDRO 1.0 and HYPRES for subsoils (n = 68).



## DISCUSSION ET CONCLUSION

Les biais obtenus avec les différentes CFPT et FPTC développées avec SOLHYDRO 1.0 sont faibles à très faibles ( $-0,015 \leq \text{EMP} \leq 0,016 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) alors qu'ils sont significativement plus élevés avec les CFPT développées avec la base européenne HYPRES ( $\text{EMP} = 0,032 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ). Si l'on écarte ce dernier cas, il n'y a pas, par conséquent, de différence sensible de qualité des fonctions de pédotransfert en terme de biais de prédiction en fonction des CFPT et FPTC utilisées. Les CFPT texturales développées avec la base de données nationale SOLHYDRO 1.0 qui sont de simples jeux de valeurs moyennes de teneur en eau volumique pour chaque classe de texture conduisent donc à des prédictions de qualité analogue à celle obtenue avec les autres CFPT et FPTC testées. Il en ressort que des CFPT et FPTC plus sophistiquées que les CFPT texturales développées avec SOLHYDRO 1.0 et plus exigeantes que celles-ci quant au nombre et à la nature des caractéristiques de sols requises par la prédiction, ne conduisent pas à une amélioration des prédictions.

Concernant cette fois la précision, des différences importantes apparaissent en fonction des CFPT et FPTC utilisées. La précision est supérieure avec les CFPT et FPTC développées avec la base de données SOLHYDRO 1.0 ( $0,038 \leq \text{ETP} \leq 0,045 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) à ce qu'elle est avec celles développées avec HYPRES ( $0,051 \leq \text{ETP} \leq 0,060 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ). De telles précisions n'en demeurent pas moins faibles quelles que soient les bases de données utilisées.

Les résultats obtenus montrent par conséquent que de « simples » CFPT texturales qui ne sont que des jeux de teneur en eau volumique moyenne à 7 valeurs de potentiel et pour les 5 classes de texture, permettent une prédiction des propriétés de rétention en eau avec une qualité équivalente, voire dans certains cas même meilleure, à celle enregistrée avec des CFPT ou des FPTC plus sophistiquées. A cela, il faut sans doute ajouter aussi, comme l'ont noté Wösten *et al.* (2001) que l'utilisation de FPT établies à partir d'un ensemble de sols correspondant à une gamme de variation différente de celle de l'ensemble de sols auquel on les applique, est à éviter. Ainsi, si la base HYPRES inclut des sols du territoire national, il n'en reste pas moins qu'elle correspond à une gamme de variation de sols qui est beaucoup plus large que les sols du territoire national. Nos résultats sont par ailleurs cohérents avec ceux enregistrés par Nemes *et al.* (2003) qui ont montré que les prédictions obtenues avec des FPT établies à l'échelle d'un continent étaient de moindre qualité qu'avec celles obtenues avec des FPT établies à l'échelle d'un pays.

Concernant l'apport de la prise en compte couplée de la composition granulométrique et de la structure par l'intermédiaire respectivement de la texture et de la densité apparente, les résultats obtenus dans cette étude ne montrent pas d'amélioration très sensible de la prédiction. S'il n'est pas envisageable d'enregistrer une réduction du biais avec la CFPT texturo-structurales tant il est déjà faible avec les CFPT texturales développées avec SOLHYDRO 1.0, la précision qui est en revanche faible avec les

CFPT texturales ( $\text{ETP} = 0,045 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) s'accroît très légèrement avec les CFPT texturo-structurales ( $\text{ETP} = 0,043 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ). L'analyse après stratification par le type d'horizons montre des résultats très proches lorsque l'on compare les CFPT texturales et texturo-structurales développées avec SOLHYDRO 1.0 pour les horizons de surface A et L ( $\text{EMP} = -0,013$  et  $-0,015 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$  et  $\text{ETP} = 0,041$  et  $0,040 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ) et les horizons de subsurface E, B et C ( $\text{EMP} = 0,001$  et  $-0,001 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$  et  $\text{ETP} = 0,045$  et  $0,045 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ). Le biais plus élevé enregistré avec les horizons de surface est sans doute en partie la conséquence des difficultés qu'il y a à mettre en relation les propriétés de rétention en eau des horizons travaillés L avec leur composition granulométrique tant leur état structural peut être variable, ainsi que la conséquence des difficultés qu'il y a à rendre compte de cet état structural et de ce que cela implique pour la géométrie de l'espace poral à l'aide de la seule densité apparente (Richard *et al.*, 2001).

## BIBLIOGRAPHIE

- Bastet G., Bruand A., Voltz M., Bornand M., Quétin P., 1999 - Performance of available pedotransfer functions for predicting the water retention properties of French soils. *In*: M. Th. Van Genuchten, F.J. Leij, L. Wu (eds), Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, Riverside, California, October 22-24, pp. 981-992.
- Bouma J., van Lanen H.A.J., 1987 - Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. p 106-111. *In*: Beek K.J., P.A. Burrough and D.E. McCormack (eds.), Proc. ISSS/SSSA Workshop on Quantified Land Evaluation Procedures. Int. Inst. for Aerospace Surv. and Earth Sci., Publ. No 6, Enschede, The Netherlands.
- Bruand A., Pérez Fernandez P., Duval O., 2003 - Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves. *Soil Use and Management*, 19, pp. 232-242.
- Bruand A., Duval O., Cousin I., 2004 - Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO: Une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture et sa densité apparente. *Etude et Gestion des Sols*, 11, pp. 323-334.
- Commission of the European Communities (CEC), 1985 - Soil map of the European Communities. Scale 1:1000000. CEC-DGVI, Luxembourg.
- van Genuchten M.Th., 1980 - A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Science Society of America Journal*, 44, pp. 892-898.
- van Genuchten M.Th., Leij F.J., Yates S.R., 1991 - The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA Salinity Laboratory, Riverside, CA, United States Environmental Protection Agency, document EPA/600/2-91/065.
- Gupta S.C., Larson W.E., 1979 - Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. *Water Resources Research*, 15, pp. 1633-1635.
- ISSS Working Group RB 1998 - World Reference Base for Soil Resources: Introduction (eds J.A. Deckers, F.O. Nachtergaele & O.C. Spaargaren), First Ed. International Society of Soil Science (ISSS). ISRIC-FAO-ISSS-Acco. Leuven.
- Minasny B., McBratney A.B., Bristow K.L., 1999 - Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. *Geoderma*, 93, pp. 225-253.

- Nemes A., 2002 - Unsaturated soil hydraulic database of Hungary: HUNSODA. *Agrokémia és Talajtan*, 51, pp. 17-26.
- Nemes A., Schaap M.G., Wösten J.H.M., 2003 - Functions evaluation of pedotransfer functions derived from different scales of data collection. *Soil Science Society of America Journal*, 67, pp. 1093-1102.
- Pachepsky Y.A., Rawls W.J., Lin H.S., 2006 - Hydropedology and pedotransfer functions. *Geoderma*, 131, pp. 308-316.
- Rawls W.J., Brakensiek D.L., Saxton K.E., 1982 - Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE*, 26, pp. 1747-1752.
- Rawls W.J., Gish, T.J., Brakensiek D.L., 1991 - Estimation soil water retention from soil physical properties and characteristics. *Adv. Soil Sci.* 16, 213-234.
- Richard G., Cousin I., Sillon J.F., Bruand A., Guéris J., 2001 - Effect of compaction on the porosity of a silty soil: Consequences on unsaturated hydraulic properties. *European Journal of Soil Science*, 52, pp. 49-58.
- Tomasella J., Pachepsky Y.A., Crestana S., Rawls J., 2003 - Comparison of Two Techniques to Develop Pedotransfer Functions for Water Retention. *Soil Sci. Am. J.* 67, pp. 1085-1092.
- Vereecken H., Maes J., Feyen J., Darius P., 1989 - Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. *Soil Science* 148, pp. 389-403.
- Wösten J.H.M., Finke P.A., Jansen M.J.W., 1995 - Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma*, 66, pp. 227-237.
- Wösten J.H.M., Lilly A., Nemes A., Le Bas C., 1999 - Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*, 90, pp. 169-185.
- Wösten J.H.M., Pachepsky Y.A., Rawls W.J., 2001 - Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data missing soil hydraulic characteristics. *Journal of hydrology*, 251, pp. 123-150.

**Annexe 1** - Validité des classes de pédo-transfert (CFPT) et des fonctions de pédo-transfert continues (FPTC) développées avec la base de données SOLHYDRO 1.0.

**Annex 1** - Validity of the class-PTFs (textural- and texturo-structural PTFs) and of the continuous-PTFs developed with SOLHYDRO 1.0.

	Fonctions de pédo-transfert développées avec SOLHYDRO 1.0						
	CFPT texturales			CFPT texturo-structurales			FPTC
	EMP cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>	ETP cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>	EMP cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>	ETP cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>	EMP cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>	ETP cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>	ETP cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
Toutes textures (n = 107)	-0.003	0.045	-0.004	0.043	-0.003	0.039	0.039
Très Fine (n = 3)	-0.003	0.029	-0.011	0.022	0.014	0.035	0.035
Fine (n = 32)	-0.005	0.054	-0.002	0.050	-0.011	0.049	0.049
Medium Fine (n = 31)	-0.012	0.029	-0.013	0.028	-0.008	0.023	0.023
Medium (n = 24)	0.004	0.052	0.003	0.051	-0.007	0.034	0.034
Grossière (n = 17)	0.005	0.041	-0.001	0.038	0.025	0.034	0.034

**Annexe 2** - Validité des classes et fonctions de pédo-transfert développées avec la base de données SOLHYDRO 1.0 et HYPRES (EMP et ETP en cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>).

**Annex 2** - Validity of the class- and continuous-PTFs developed with SOLHYDRO 1.0 and HYPRES (EMP et ETP in cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>).

	Fonctions de pédo-transfert développées avec SOLHYDRO 1.0												Fonctions de pédo-transfert développées avec HYPRES <sup>(1)</sup>									
	CFPT texturales				CFPT texturo-structurales				FPTC				CFPT				FPTC					
	Sans stratification par type d'horizon		Avec stratification par type d'horizon		Sans stratification par type d'horizon		Avec stratification par type d'horizon		Sans stratification par type d'horizon		Avec stratification par type d'horizon		Sans stratification par type d'horizon		Avec stratification par type d'horizon		Sans stratification par type d'horizon		Avec stratification par type d'horizon			
EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	EMP	ETP	
<b>Horizons de surface A et L (n = 39)</b>																						
Toutes textures	-0.014	0.041	-0.013	0.041	0.038	0.038	-0.015	0.040	-0.010	0.037	-0.013	0.038	0.020	0.053	0.002	0.051	-	-	-	-	-	-
Très Fine (n=0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fine (n = 10)	-0.026	0.051	-0.029	0.051	0.046	0.046	-0.029	0.049	-0.032	0.047	-0.036	0.051	0.032	0.056	-0.026	0.055	-	-	-	-	-	-
Medium Fine (n=13)	-0.001	0.032	-0.009	0.031	0.033	0.033	-0.009	0.033	-0.006	0.025	-0.009	0.025	0.021	0.042	0.014	0.032	-	-	-	-	-	-
Medium (n=7)	-0.020	0.041	-0.017	0.044	0.042	0.042	-0.016	0.042	-0.019	0.024	-0.018	0.027	0.010	0.060	-0.013	0.044	-	-	-	-	-	-
Grossière (n = 9)	-0.014	0.033	0.001	0.034	0.032	0.032	-0.009	0.033	0.014	0.030	0.009	0.028	0.013	0.059	0.009	0.061	-	-	-	-	-	-
<b>Horizons de subsurface E, B et C (n = 68)</b>																						
Toutes textures	0.003	0.047	0.001	0.045	0.045	0.045	-0.001	0.045	0.001	0.040	0.004	0.040	0.032	0.060	0.016	0.050	-	-	-	-	-	-
Très Fine (n=3)	-0.003	0.029	10 <sup>-5</sup>	0.028	0.022	0.022	-0.007	0.026	0.014	0.035	0.023	0.036	0.062	0.038	0.043	0.053	-	-	-	-	-	-
Fine (n = 22)	0.005	0.053	0.005	0.053	0.052	0.052	-0.003	0.051	-0.002	0.047	0.001	0.047	0.061	0.056	0.016	0.051	-	-	-	-	-	-
Medium Fine (n=18)	-0.020	0.024	-0.015	0.023	0.023	0.023	-0.015	0.022	-0.010	0.022	-0.007	0.024	0.002	0.043	0.019	0.030	-	-	-	-	-	-
Medium (n=17)	0.014	0.053	0.013	0.052	0.052	0.052	0.015	0.052	-0.003	0.037	-0.003	0.036	0.026	0.061	0.006	0.056	-	-	-	-	-	-
Grossière (n = 8)	0.026	0.040	0.001	0.040	0.035	0.035	0.001	0.040	0.037	0.035	0.041	0.040	0.020	0.066	0.024	0.059	-	-	-	-	-	-

<sup>(1)</sup> d'après Wösten et al. (1999)