

Vers une cartographie numérique des propriétés des sols du monde : le programme GlobalSoilMap

J. W. Hempel, A.B. Mcbratney, N..J. Mckensie, A.E. Hartemink, R.
Macmillan, Philippe Lagacherie, Dominique Arrouays

► To cite this version:

J. W. Hempel, A.B. Mcbratney, N..J. Mckensie, A.E. Hartemink, R. Macmillan, et al.. Vers une cartographie numérique des propriétés des sols du monde : le programme GlobalSoilMap. Etude et Gestion des Sols, Association Française pour l'Etude des Sols, 2013, 20 (1), pp.7-14. hal-02645255

HAL Id: hal-02645255

<https://hal.inrae.fr/hal-02645255>

Submitted on 29 May 2020

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.

Vers une cartographie numérique des propriétés des sols du monde

Le programme GlobalSoilMap

J. W. Hempel⁽¹⁾, A. B. McBratney⁽²⁾, N. J. McKenzie⁽³⁾, A. E. Hartemink⁽⁴⁾, R. MacMillan⁽⁵⁾, P. Lagacherie⁽⁶⁾, D. Arrouays^(7*)

- 1) United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE 68508, USA
- 2) Faculty of Agriculture, Food & Natural Resources. The University of Sydney, NSW, AU 2006
- 3) The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Canberra, AU
- 4) University of Wisconsin - Madison, Department of Soil Science, FD Hole Soils Lab, 1525 Observatory Drive, 53706 Madison, USA
- 5) Retired- ISRIC, World Soil Information Centre, NL
- 6) INRA, UMR 1221 LISAH, F-34060 Montpellier CEDEX 2, France
- 7) INRA, InfoSol, US 1106, F-45075 Orléans CEDEX 2, France

*: Auteur correspondant : Dominique.Arrouays@orleans.inra.fr

RÉSUMÉ

A l'heure où il est reconnu que la connaissance et la protection des sols sont des piliers majeurs pour répondre à de grands enjeux planétaires (sécurité alimentaire, changement climatique, accaparement des terres, urbanisation et artificialisation, gestion de l'eau...), il paraît plus que jamais indispensable de se doter d'outils permettant de prendre en compte les propriétés des sols à l'échelle mondiale. Face à ces constats, les initiatives internationales se multiplient. L'une d'elle, le projet GlobalSoilmap, vise à produire, à terme, une base de données digitale harmonisée et mondiale de quelques propriétés des sols. Il a été lancé en 2006 à l'initiative du Groupe de Travail « Digital Soil Mapping » de l'Union Internationale de Science du Sol (IUSS).

Il est porté par un consortium qui réunit des organismes leaders dans le domaine de la cartographie des sols. L'objectif du programme est de produire une base de données librement accessible de quelques propriétés des sols d'intérêt majeur, sous forme d'une grille raster au pas de 100 mètres, et ce, sur la totalité du Monde, surfaces artificialisées exclues. Il est prévu de délivrer ces propriétés sous la forme de valeurs moyennes assorties d'intervalles de confiance (ou fourchettes de valeurs les plus probables) de façon à rendre compte en même temps de l'incertitude associée. La prédiction de ces propriétés à des profondeurs standard est faite en utilisant la fonction « Spline » pour transformer des données recueillies par horizons ou par couches de profondeurs connues en un profil continu modélisant la distribution de la propriété en fonction de la profondeur. Une attention particulière est portée à l'estimation des incertitudes. Bien qu'aucun pays n'ait actuellement produit une couverture exhaustive de toutes les propriétés, un certain nombre de pays se

sont lancés dans l'aventure, et disposent déjà, pour tout ou partie de leur territoire, de quelques produits conformes aux spécifications de GlobalSoilMap.

Mots clés

Cartographie numérique des sols, base de données, propriétés des sols, monde.

SUMMARY

TOWARDS A DIGITAL SOIL MAP OF WORLD'S SOIL PROPERTIES: The GlobalSoilMap program

It is now well recognised that soil information and soil security are essential pillars to tackle major global issues (food security, climate change, land grabbing, biodiversity, water management). The solving of global problems requires global data. The GlobalSoilMap project aims to produce a digital soil map of the world. It was launched in 2006 by the "Digital Soil Mapping" working group of the International Union of Soil Sciences (IUSS). The project is managed by a global consortium that are leaders in soil mapping. The objective of the project is to build a free downloadable database of key soil properties, in a 100x100m raster format mostly using existing soil information. The soil properties will be delivered as mean values including confidence intervals. The spline function will be used in order to transform horizons data into a continuous depth function of soil properties. The estimation of uncertainties is an unique trait but major challenge of this project. The uncertainties may determine, for example, where to conduct new surveys or additional soil sampling to obtain more accurate predictions of soil properties. Several countries have already produced products according to the GlobalSoilMap specifications and the project is rejuvenating soil survey and mapping in many parts of the world.

Key-words

Digital soil mapping, soil properties, database, uncertainty, soil survey and mapping.

RESUMEN

HACIA UNA CARTOGRAFÍA NUMÉRICA DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS DEL MUNDO: El programa GlobalSoilMap

Al momento donde se reconoce que el conocimiento y la protección de los suelos están los pilares mayores para responder a grandes desafíos planetarios (seguridad alimenticia, cambio climático, acaparamiento de las tierras, urbanización y artificialización, gestión del agua...), parece más que nunca indispensable tener herramientas que permiten tomar en cuenta las propiedades de los suelos a escala mundial. Frente a estas actas, las iniciativas se multiplican. Una de ellas, el proyecto GlobalSoilMap, entiende producir, al final, una base de datos numérica armonizada de algunas propiedades de los suelos. Se inició en 2006 a la iniciativa del grupo de trabajo "Digital Soil Mapping" de la Unión Internacional de Ciencia del Suelo (IUSS). Un consorcio lo lleva que reunió organismos líderes en el ámbito de la cartografía de los suelos. El objetivo del programa esta-es de producir una base de datos libremente accesible de algunas propiedades de los suelos de interés mayor, bajo forma de una reja "raster" al paso de 100 metros, y esto, sobre la totalidad del mundo, superficies artificializadas excluidas. Está previsto presentar estas propiedades bajo forma de valores medios con intervalos de confianza (o gama de valores los más probables) de manera a dar cuenta en el mismo tiempo le la incertitud asociada. La predicción de estas propiedades a profundidades estándares se hace usando la función "spline" para transformar los datos colectados por horizontes o por capas de profundidades conocidas en un perfil continuo que modeliza la distribución de la propiedad en función de la profundidad. Se lleva una atención particular a la estimación de la incertitud. Aunque ningún país ha producido actualmente una exhaustiva cobertura de todas las propiedades, ciertos países se embarcaron en la aventura, y tienen ya, para la totalidad o parte del territorio, algunos productos conformes a las especificaciones de GlobalSoilMap.

Palabras clave

Cartografía numérica de los suelos, base de datos, propiedades de suelos, Mundo

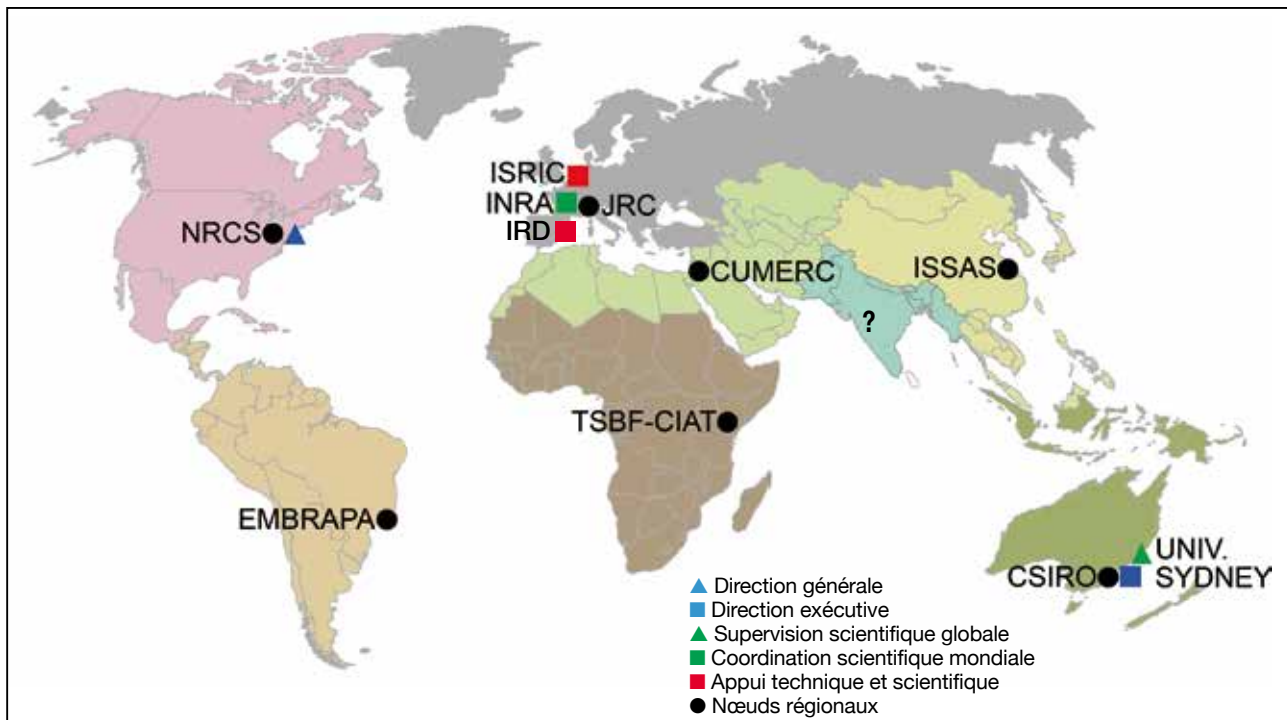
INTRODUCTION

Le développement du concept de cartographie numérique des sols (ou en anglais «Digital Soil Mapping», McBratney *et al.*, 2003) et la multiplication des sources de données géographiquement exhaustives et en format numérique rendent aujourd'hui possible la production de bases de données prédictives des propriétés des sols en format raster, assorties d'une estimation de leurs incertitudes. Ce type de produit est de plus en plus répandu (voir par exemple les actes du dernier Workshop sur la cartographie numérique des sols (Minasny *et al.*, 2012)) et présente de multiples avantages par rapport aux bases de données «classiques» décrivant la distribution de types de sols sous forme de polygones:

- il fournit directement des propriétés d'intérêt;
- il peut quantifier les incertitudes associées à ces prédictions.
- ses méthodes d'élaborations sont transparentes, facilement reproductibles et améliorables dans le temps au fur et à mesure de l'évolution des données et des modèles disponibles;
- il peut aboutir à des informations dynamiques, dans le temps et dans l'espace;
- il peut être facilement croisé avec d'autres sources d'information numérique et injecté comme donnée d'entrée dans des modèles spatiaux ou temporels;
- il est plus facile à harmoniser entre régions ou pays différents.

Figure 1 - Le consortium.

Figure 1 - The consortium.



A l'heure où il est reconnu que la connaissance et la protection des sols sont des piliers majeurs pour répondre à de grands enjeux planétaires (sécurité alimentaire, changement climatique, accaparement des terres, urbanisation et artificialisation, gestion de l'eau...), il paraît plus que jamais indispensable de se doter d'outils permettant de prendre en compte les propriétés des sols à l'échelle mondiale. Face à ces constats, les initiatives internationales se multiplient. L'une d'elle, le projet GlobalSoilmap (Sanchez *et al.*, 2009; Hempel *et al.*, 2012) vise à produire à terme une base de données digitale harmonisée et mondiale de quelques propriétés des sols. Cette note en résume la structuration, les objectifs, le contenu et les produits attendus, ainsi que l'état d'avancement.

STRUCTURATION DU PROGRAMME

Le programme GlobalSoilMap a été lancé en 2006 à l'initiative du Groupe de Travail «Digital Soil Mapping» de l'Union Internationale de Science du Sol (IUSS).

Il est porté par un consortium qui réunit des organismes leaders dans le domaine de la cartographie des sols. Son organisation comprend un Directeur, un Directeur exécutif, un coordinateur scientifique, un conseil scientifique, et des «nœuds continentaux» chargés d'assurer la coordination à des échelles régionales (*figure 1*). Les correspondants de ces

nœuds continentaux sont généralement les organismes en charge de la cartographie des sols à des échelles nationales ou infra-nationales.

Le projet est également doté de groupes de travail thématiques chargés de traiter de façon approfondie les points suivants:

- 1) Spécifications
- 2) Données historiques ponctuelles et surfaciques
- 3) Covariables
- 4) Développement de nouvelles méthodes de prédiction
- 5) Application et documentation de méthodes existantes (Bob-ISRIC)
- 6) Modèles de systèmes d'information du les sols
- 7) Infrastructure web
- 8) Relation avec les utilisateurs
- 9) Incertitudes et précision
- 10) Cartographie opérationnelle
- 11) Stratification globale.

Au démarrage, le programme a bénéficié de financements de la fondation Bill & Melinda Gates (18 M\$) dont l'essentiel a servi à financer des opérations en Afrique. Actuellement, il fonctionne essentiellement par auto-financement des partenaires et des solutions pour pérenniser ces financements sont en cours d'étude ou de négociation.

OBJECTIFS

L'objectif du programme est de produire une base de données librement accessible de quelques propriétés des sols d'intérêt majeur, sous forme d'une grille raster au pas de 100 mètres, et ce, sur la totalité du Monde, surfaces artificialisées exclues. Il est prévu de délivrer ces propriétés sous la forme de valeurs moyennes assorties d'intervalles de confiance (ou fourchettes de valeurs les plus probables) de façon à rendre compte en même temps de l'incertitude associée. La liste minimale des propriétés d'intérêt retenues est la suivante:

1. Teneur en carbone organique (g.kg^{-1})
2. Granulométrie exprimée en pourcentage de sables (%), limons (%), argiles (%) et éléments grossiers (%)
3. pH (standardisé selon la dilution à l'eau 1:2,5)
4. Profondeur exploitable par les racines (m)

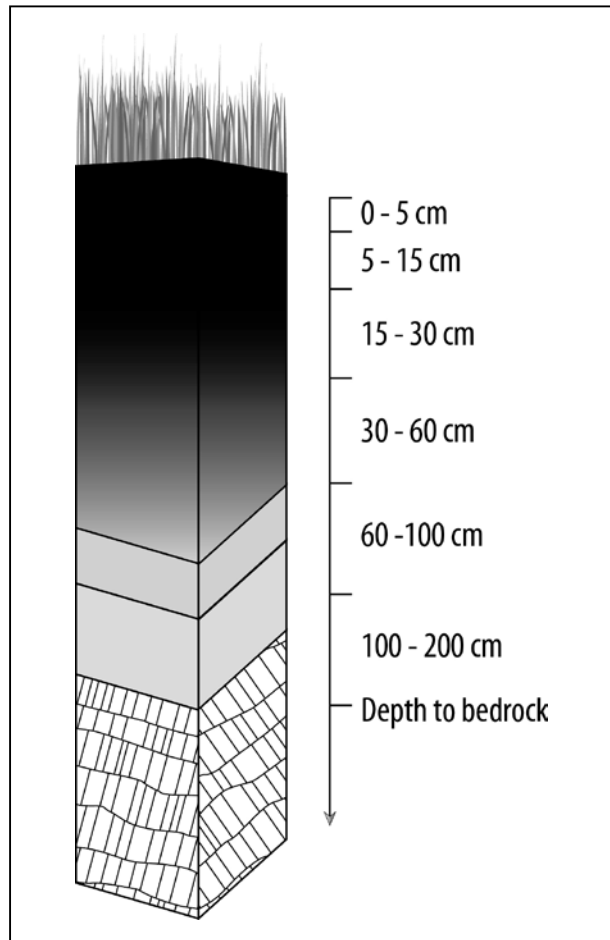
A partir de ces propriétés seront dérivées les propriétés suivantes par des fonctions de pédotransfert:

5. Masse volumique (kg/m^3)
6. Réserve en eau utile (mm/m)

On pourra objecter que cette liste est relativement limitée. Elle comprend essentiellement des paramètres qui sont des données d'entrée indispensables à de très nombreux modèles. Toutefois, cette liste ne doit être considérée que comme le minimum à atteindre. Elle n'est bien entendu pas limitative et

Figure 2 - Profil de sol et profondeurs standard de GlobalSoilMap.

Figure 2 - Soil profile and GlobalSoilMap standard depths.



tout contributeur peut fournir d'autres caractéristiques qui lui sembleraient importantes. Enfin, au plan politique, il est certain que l'ajout à cette liste de paramètres plus «sensibles» (par exemple, des contaminants) aurait certainement bloqué l'adhésion de bon nombre de pays.

SPÉCIFICATIONS

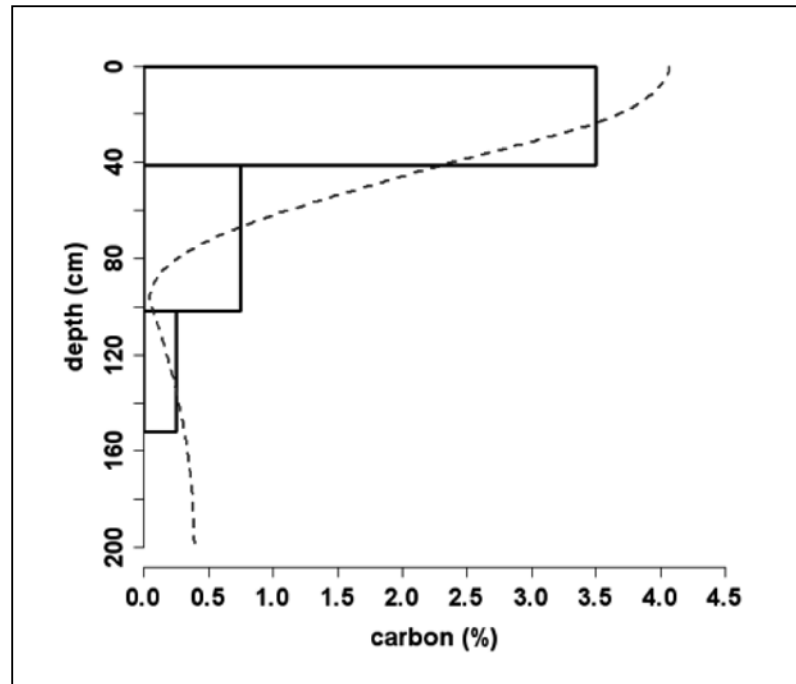
Les spécifications font l'objet d'un document régulièrement mis à jour et librement accessible sur le site www.globalsoilmap.net.

Outre les spécifications concernant les projections géographiques, ce document précise les profondeurs standard auxquelles fournir les propriétés (figure 2)

La prédiction de ces propriétés à des profondeurs standard est faite en utilisant la fonction «Spline» (Bishop et al.,

Figure 3 - Exemple de profil de sol et de fonction spline appliquée au carbone.

Figure 3 - A soil carbon profile and the spline depth function.



1999; Malone *et al.*, 2009) aujourd'hui très largement utilisée pour transformer des données recueillies par horizons ou par couches de profondeurs connues en un profil continu modélisant la distribution de la propriété en fonction de la profondeur.

A partir de ces fonctions «spline», on peut recalculer à la demande la valeur d'une propriété à n'importe quelle profondeur, ou le stock sur une profondeur donnée, ou bien encore la profondeur qu'il faut atteindre pour obtenir un stock donné. Les autres avantages de cette fonction sont sa simplicité et son efficacité pour la majorité des cas. Elle peut cependant poser quelques problèmes et réclamer quelques adaptations, en particulier dans le cas où il existe des ruptures très brutales entre horizons (par exemple dans les PLANOSOLS, dans les PODZOSOLS Duriques...), ou au contraire dans le cas d'horizons parfaitement homogénéisés (cas des horizons labourés L, par exemple). Si l'on connaît ces caractères (transition brutale ou homogénéité) et leurs profondeurs d'apparition et de disparition, il est possible de modifier le calcul du spline en conséquence, par exemple en y ajoutant des points fictifs.

MODE DE PRODUCTION DES DONNÉES

Les spécifications n'imposent pas de méthodes pour produire les données mais recommandent d'utiliser la meilleure méthode disponible en fonction des données d'entrée. Il est d'une part évident que ces méthodes ne seront pas les mêmes selon la densité et la qualité de l'information initiale. Un sec-

teur très dense en profils de sols analysés peut par exemple être traité à l'aide d'outils géostatistiques avancés, alors qu'un autre, qui disposerait de moins d'informations ponctuelles, pourrait utiliser des techniques classiques de cartographie numérique (classifications, régressions, fouille de données, réseaux de neurones, forêt aléatoires, etc.) pour réaliser des cartographies prédictives. Lorsque des cartes pédologiques sont disponibles, des techniques spécifiques peuvent également être mises en œuvre pour récupérer l'information qu'elles contiennent. La combinaison de plusieurs techniques n'est évidemment pas exclue. Il est d'autre part évident que les données auxiliaires à disposition et les méthodes pour la cartographie numérique sont en constante évolution (Minasny *et al.*, 2012) et qu'il n'est donc pas souhaitable de figer un cadre méthodologique strict. Toutefois, les spécifications suggèrent des approches possibles en fonction de la densité et de la qualité des données source.

LA QUESTION DES INCERTITUDES

Il est évident qu'une telle base de données doit fournir aux utilisateurs les incertitudes associées aux prédictions spatiales, que cette base soit utilisée pour de l'aide à la décision ou pour de la modélisation. Ici encore, le mode de calcul des incertitudes, et même l'estimation de l'incertitude sur l'incertitude, vont dépendre à la fois des données d'entrée et du modèle utilisé. Quelques recommandations sont données dans les spécifications, et un groupe de travail est entièrement

dédié à ces questions. Ici également, on peut imaginer que des solutions apparaîtront progressivement, alimentées par la recherche.

INCERTITUDE VS RÉOLUTION VS ECHELLE

Certains objectent que délivrer un produit au pas de 100 mètres n'a pas de sens eu égard à la faible densité d'information dont on dispose le plus souvent à l'origine. Cette objection trouve sa source dans les cahiers des charges des études pédologiques (voir par exemple en France et en Europe: Jamagne, 1967; Boulaine, 1980; Legros, 1996; Finke *et al.*, 2001; InfoSol, 2005; AFNOR, 2007) qui lient explicitement une densité d'observation avec une échelle de carte. A l'heure où l'information pédologique peut être stockée sous une forme numérique, il nous a semblé possible et opportun de dissocier la densité des observations de la résolution de restitution de la base. En effet, à la différence de l'échelle d'une carte pédologique, la résolution de la grille GlobalSoilMap ne suggère aucun niveau d'incertitude, celui-ci étant plus efficacement exprimé par la largeur de l'intervalle de confiance utilisé pour délivrer les valeurs de propriétés des sols. Nous convenons que dans bien des cas l'incertitude sera effectivement très forte. Mais elle ne fera que traduire la faiblesse de nos connaissances et de nos données actuelles. Si les utilisateurs se plaignent de cette incertitude, nous aurons alors un moyen pour réclamer de nouvelles études de sol. Mieux encore, une carte globale des incertitudes sur un pays pourrait permettre à un décideur de mieux savoir où concentrer prioritairement les moyens pour de nouvelles acquisitions.

Par ailleurs, en définissant une maille élémentaire suffisamment fine pour stocker potentiellement de l'information pédologique précise, nous anticipons les futures opérations de mises à jour qui pourront être réalisées à l'occasion d'acquisition de nouvelles données pédologiques, sans qu'il soit besoin de revoir la structure de données en place.

AVANCEMENT

Bien qu'aucun pays n'ait actuellement produit une couverture exhaustive de toutes les propriétés, un certain nombre de pays se sont lancés dans l'aventure, et disposent déjà, pour tout ou partie de leur territoire, de quelques produits conformes aux spécifications de GlobalSoilMap: on peut citer par exemple l'Australie (Grundy *et al.* 2012), le Canada, la Corée du Sud (Hong *et al.*, 2012), le Danemark (Adhikari *et al.*, 2012), les Etats-Unis (Hempel *et al.*, 2012), le Nigéria (Odeh *et al.*, 2012), la Nouvelle Zélande, la Tunisie (Ciampalini *et al.*, 2012), le Canada (Aspinall and Sweeney, 2012), l'Indonésie (Sulaeman *et al.*, 2012), le Chili (Padarian *et al.*, 2012).

En France, des travaux sont menés actuellement en Bretagne (Lemerrier *et al.*, 2011; Lacoste *et al.*, 2011, 2012) et débutent en Languedoc-Roussillon et en région Centre, ainsi qu'à l'échelle de la France entière. De premières estimations des stocks de carbone sur la profondeur de 30cm ont été réalisées récemment à l'échelle de la Corse (Grosset *et al.*, 2011) et de la France entière (Meersmans *et al.*, 2012a et b). Bien que la plupart de ces produits ne soient pas encore des produits répondant strictement aux spécifications de GlobalSoilMap, on peut considérer qu'ils contribuent à ouvrir la voie vers une base de données française y répondant. La première conférence internationale sur le programme GlobalSoilMap se tiendra à Orléans (France) du 7 au 9 octobre 2013.

Renseignements et inscriptions :

<https://colloque.inra.fr/globalsoilmap2013>

CONCLUSION

Le programme GlobalSoilMap est un projet mondial ambitieux qui a vocation à délivrer des bases de données sur les propriétés des sols et à faciliter leur utilisation pour la prise de décision et la modélisation. Le développement des spécifications de ce projet est très avancé, et des premiers produits conformes commencent à être délivrés. A l'heure où la FAO vient de faire adopter un partenariat mondial sur les sols (le « Global Soil Partnership »), on peut espérer que de très nombreux pays adhéreront à cette démarche. Plus spécifiquement, nous espérons que cette note publiée dans ce numéro spécial d'Etude et Gestion des Sols contribuera à convaincre les spécialistes francophones du sol de se lancer dans ce grand défi.

REMERCIEMENTS

Le programme GlobalSoilMap a bénéficié de financements de la fondation Bill & Melinda Gates (18 M\$). Pour la France et la coordination scientifique mondiale, il est soutenu par le département Environnement et Agronomie de l'INRA.

BIBLIOGRAPHIE

- Adhikari K, Bou Kheir R, Greve MB, Bocher PK, Greve MH, Malone BP, Minasny B, McBratney AB., 2012 - Progress towards *GlobalSoilMap.net* soil database of Denmark. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 445-451.
- AFNOR, 2007 - Norme NF X31-560: Qualité des sols. Cartographie des sols appliquée à toutes les échelles. Association Française de Normalisation, Saint-Denis, France, 16 p.
- Aspinall JD, Sweeney SJ., 2012 - Digital soil mapping in Ontario, Canada: An example using high resolution LiDAR. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 307-312.

- Bishop TFA, McBratney AB, Laslett GM., 1999 - Modelling soil attribute depth functions with equal-area quadratic smoothing splines. *Geoderma*, 91, 27-45.
- Boulaine J., 1980 - Pédologie Appliquée. Masson, Paris, 220 p.
- Ciampalini R, Lagacherie P, Hamrouni H., 2012 - Documenting GlobalSoilMap.net grid cells from legacy measured soil profile and global available covariates in Northern Tunisia. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 439-444.
- Finke P, Hartwich R, Dudal R, Ibanez J, Jamagne M, King D, Montanarella L, Yassoglou N., 2001 - Base de données géoréférencée des sols pour l'Europe. Manuel de procédures. Version 1.1. Traduction JJ Lambert. European Communities, 2001. EUR 18092 FR, 174 p.
- GlobalSoilMap. 2012. www.globalsoilmap.net. Dernier accès le 03/12/2012.
- Grosset Y., Richer de Forges A.C., Demartini J., Saby N.P.A., Martin M.P., Meersmans J., Arrouays D., 2011 - Une analyse des facteurs de contrôle de la distribution des teneurs en carbone des horizons superficiels des sols de Corse. *Etude et Gestion des Sols*, 18, (4), 259-269.
- Grundy M.J., Searle R.D., Robinson J.B., 2012 - An Australian soil grid: infrastructure and function. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 459-464.
- Hempel J.W., Libohova Z., Odgers N.P., Thompson J.M., Smith S.S., Lelyk G.W., 2012 - Versioning of GlobalSoilMap.net raster property maps for the North American node. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 429-434.
- Hong S.Y., Kim Y.H., Han K.H., Hyun B.K., Zhang Y.S., Song K.C., Minasny B., McBratney A.B., 2012 - Digital soil mapping of soil properties for Korean soils. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 435-438.
- InfoSol, 2005 - Référentiel Régional Pédologique. Cahier des clauses techniques générales, 22 p. Accessible en ligne sur: <http://www.gissol.fr/programme/igcs/rpp.php> (dernier accès le 03/12/2012).
- Jamagne M., 1967 - Bases et techniques d'une cartographie des sols. *Annales agronomiques, numéro hors série vol. 18*, 142 p.
- Lacoste M., Lemerrier B., Walter C., 2011 - Regional mapping of soil parent material by machine learning based on point data. *Geomorphology*, 133, 90-99.
- Lacoste M., Michot D., Viaud V., Walter C., Minasny B., McBratney A.B., 2012 - High resolution 3D mapping for soil organic carbon assessment in a rural landscape. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 341-346.
- Legros J.-P., 1996 - Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Suisse. 411 p.
- Lemerrier B., Lacoste M., Loum M., Walter C., 2011 - Extrapolation at regional scale of local soil knowledge using boosted classification trees: A two steps approach. *Geoderma*, 171, 75-84.
- Malone B.P., McBratney A.B., Minasny B., 2009 - Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. *Geoderma*, 154, 138-152.
- McBratney, A.B., Minasny, B., Mendonca Santos, M.L., 2003 - On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52.
- Meersmans J., Martin M.P., De Ridder F., Lacarce E., Wetterlind J., De Baets S., Le Bas C., Jolivet C.C., Boulonne L., Lehmann S., Saby N.P.A., Bispo A., Arrouays D., 2012a - A novel soil organic C model using climate, soil type and management data at the national scale (France). *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 873-888.
- Meersmans J., Martin M.P., Lacarce E., De Baets S., Jolivet C., Boulonne L., Lehmann S., Saby N.P.A., Bispo A., Arrouays D., 2012b - A high resolution map of the French soil organic carbon. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 841-851.
- Minasny B., Malone B.P., McBratney, A.B., 2012 - Digital Soil Assessments and Beyond. © Taylor and Francis Group, Londres, UK, 466 p.
- Odeh I.O.A., Leenaars J., Hartemink A.E., Amapu I., 2012 - The challenges of collating legacy data for digital mapping of Nigerian soils. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp.453-458.
- Padarian J., Pérez-Quesada J., Seguel O., 2012 - Modelling the distribution of organic carbon in the soils of Chile. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 329-333.
- Sanchez P.A., Ahamed S., Carre F., Hartemink A.E., Hempel J., Huisling J., Lagacherie P., McBratney A.B., McKenzie N.J., Mendonca-Santos M.D., Minasny B., Montanarella L., Okoth P., Palm C.A., Sachs J.D. Shepherd K.D., Vagen T.G., Vanlauwe B., Walsh M.G., Winowiecki L.A., Zhang G.L., 2012 - Digital soil map of the World. *Science*, 325, 680-681.
- Sulaeman Y., Sarwani M., Minasny B., McBratney A.B., Sutandi A., Barus B., 2012. - Soil-landscape models to predict soil pH variation in the Subang region of West Java, Indonesia. In: Digital Soil Assessments and Beyond - Minasny, Malone & McBratney (eds) - © Taylor and Francis Group, Londres, UK, pp. 317-323.

