



HAL
open science

Essai de développement de produits GlobalSoilMap à l'échelle de la France métropolitaine. Rapport de Pari Scientifique 2013-2014 du Département EA de l'INRA

Dominique D. Arrouays, Bertrand Laroche, Sébastien Lehmann, Manuel Pascal Martin, Anne C Richer-De-Forges, Nicolas N. Saby, Rossano Ciampalini, Vera Leatitia Mulder, Violaine Murciano, Jean-Baptiste J.-B. Paroissien, et al.

► **To cite this version:**

Dominique D. Arrouays, Bertrand Laroche, Sébastien Lehmann, Manuel Pascal Martin, Anne C Richer-De-Forges, et al.. Essai de développement de produits GlobalSoilMap à l'échelle de la France métropolitaine. Rapport de Pari Scientifique 2013-2014 du Département EA de l'INRA. 2016. hal-02800899

HAL Id: hal-02800899

<https://hal.inrae.fr/hal-02800899>

Submitted on 5 Jun 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.

Essai de développement de produits *GlobalSoilMap* à l'échelle de la France métropolitaine

Rapport de Pari Scientifique 2013-2014 du Département EA de l'INRA

INRA InfoSol, US 1106, Orléans – février 2016

Responsable scientifique : Dominique Arrouays

Participants de l'unité InfoSol (agents permanents) :

Dominique Arrouays, Bertrand Laroche, Sébastien Lehmann, Manuel Martin, Anne Richer de Forges, Nicolas Saby

Participants d'agents non permanents de l'unité InfoSol :

Rossano Ciampalini, Titia Mulder, Violaine Murciano, Jean-Baptiste Paroissien

Collaborations externes :

Joël Daroussin, Marine Lacoste (UR Sols), Pierre Nehlig et Guillaume Martelet (BRGM), Philippe Lagacherie (UMR Lisah)

Contexte et enjeux

Le projet mondial *GlobalSoilMap* vise à constituer une base de données digitale mondiale de propriétés des sols d'importance majeure. Ces propriétés seront prédites sur un support de 3 arc-secondes x 3 arc-secondes (soit sous nos latitudes, environ 90-m x 90-m) et selon des profondeurs fixes. Leur prédiction devra être assortie d'une incertitude. Il s'agit d'un défi scientifique et technique majeur et d'un produit d'intérêt global (Arrouays et al., 2014).

Selon les données d'entrée disponibles, les techniques pour produire ce type d'information peuvent être variées (géostatistique, régressions, arbres de régressions ou de classification, désagrégation d'unités complexes, etc.). Il en est de même pour les techniques visant à prédire l'incertitude sur ces prédictions.

Nous testons dans le cadre de ce projet la faisabilité de réaliser de tels produits à l'échelle de la France métropolitaine ainsi qu'à l'échelle régionale (Centre) où les données disponibles permettront de simuler des situations où cette disponibilité est soit très bonne (données plus précises, plus nombreuses et plus variées), soit beaucoup plus limitée. Ainsi, l'existence de situations très variées en ce qui concerne la densité et la précision des données disponibles permet de tester la faisabilité de ce type de produit ainsi que celle de l'estimation des incertitudes associées. Nous menons également une comparaison avec des produits développés par le JRC Ispra à l'échelle européenne ou bien par l'ISRIC à l'échelle mondiale.

Bien que le projet *GlobalSoilMap* ait d'ores et déjà un impact scientifique majeur, à l'heure actuelle, à l'exception des Etats-Unis et de l'Australie, peu d'autres pays (Corée du Sud, Ecosse et Danemark) sont parvenus à délivrer de tels produits.

Les enjeux scientifiques majeurs liés à l'approche sont de délivrer des méthodologies adaptées aux diverses situations susceptibles d'être rencontrées à l'échelle mondiale en ce

qui concerne le mode de production i) des prédictions et ii) des incertitudes qui y sont associées.

Enjeux pour la production des prédictions

Selon les données d'entrées disponibles, des méthodologies adaptées ont été développées, testées et comparées.

D'autre part, un autre enjeu est de tester l'apport de nouvelles co-variables comme les données de gammamétrie aéroportée, disponibles en région Centre. De premiers travaux menés dans le cadre d'un PostDoc financé par le département EA avaient permis de lever certains verrous méthodologiques à l'utilisation de ces données. En revanche, à l'exception de travaux menés en Bretagne, aucun travail de nature opérationnelle n'avait été conduit en France. Cette opérationnalité est ici testée en milieu sédimentaire, de nature fondamentalement différente du socle Breton.

Déroulement du projet

Préparation des données

Parmi les variables retenues dans le projet *GlobalSoilMap* nous nous sommes focalisés en premier lieu sur la prédiction des profils de carbone organique et de granulométrie en utilisant des outils de type « spline » (Arrouays et al., 2014).

Le projet a compris une première phase de **construction des jeux de données** ;

- Collecte/assemblage/calcul des données en mode raster (dérivées du MNT SRTM et ASTER, Corine land Cover, radiométrie gamma)
- Collecte et assemblage des données vectorielles (Bases de données Sol existantes, base lithographique)
- Assemblage des données ponctuelles de profils (profils des bases IGCS, RMQS et BIOSOIL)
- Elaboration de la grille standard *GlobalSoilMap* et combinaison des données précédentes avec celle-ci.

En parallèle, un gros travail a consisté en une **interpolation verticale des données ponctuelles** sur la base de splines puis en l'intégration des splines sur les profondeurs fixes pour calculer les valeurs sur les profondeurs standards de *GlobalSoilMap*.

Phase de prédiction

Plusieurs types de prédiction ont été testés aux échelles régionales et nationales :

- A l'échelle nationale nous avons utilisé tous les profils « splinés » provenant de la base DoneSol ainsi que les covariables dont nous disposons en tout point de l'espace.

Table 1: Exhaustive categorical and continuous covariates used for the GSM mapping procedure at the French national level (Mulder et al., 2016).

Variable	Scale/resolution	Reference
<u>Climate</u>		
Mean annual potential evapotranspiration (PET)	8 km	(26)
Mean annual precipitation	1 km	(27)
Maximum temperature	1 km	(27)
<u>Vegetation and land management</u>		
Manure application	per department	(28)
Forest type	-	(29)
Ecoclimap land use	1 km	(30)
Max Net Primary Production (NPP)	1 km	(31)
<u>Soil data</u>		
Soil type	1:1M	(32)
Parent material	1:1M	(32)
Rate of river network development and persistence (IDPR)	1:50 K	(33)
Available water capacity (AWC)	1:1 M	(34)
Erosion rates	1:1M	(35)
<u>Topography</u>		
SRTM DEM (elevation)	90m	(36)
Aspect	90m	(36)
Compound Topographic Index	90m	(36)
Curvature	90m	(36)
Exposition	90m	(36)
Slope position	90m	(36)
Slope, cosines(slope)	90m	(36)
Gravimetric data (Bouger anomaly)	4 km	(37)

- A l'échelle régionale nous avons ajouté à ces données des cartes lithologiques détaillées du BRGM, des données de gammamétrie aéroportée, et les Référentiels Régionaux Pédologiques du programme IGCS. Nous avons également écarté le jeu de données du RMQS pour tester une validation indépendante et non biaisée de certaines prédictions.

Plusieurs modes de prédiction ont été testés :

- 1) Dans l'espace des variables (GBM, Cubist), suivie d'une analyse géostatistique des résidus
- 2) Estimation des incertitudes selon différentes approches (leave group out, validation externe)
- 3) Pour la France et quelques variables, nous avons réalisé des comparaisons avec les prédictions à l'échelle européenne
- 4) Le produit « France entière » que nous avons développé est actuellement en cours d'expertise par des partenaires régionaux du programme IGCS (Bretagne, Région Centre, Alsace, Languedoc-Roussillon)

Résultats obtenus

- Nous avons pu générer les premiers produits de type *GlobalSoilMap* pour une région de France et pour la France métropolitaine.
- **Pour la Région Centre** la prédiction de la texture a été réalisée en utilisant des arbres de régressions boostés suivis d'un co-krigeage des résidus. Nous avons procédé à une validation croisée en retirant 10% du jeu de données et en effectuant 1000 prédictions. Nous avons obtenu des prédictions satisfaisantes principalement pour la prédiction des teneurs en limon et en sable. En règle générale, la qualité de la prédiction décroît avec la profondeur.

	Depth	0-5	5-15	15-30	30-60	60-100	100-200
Clay	R ²	0.42	0.40	0.38	0.24	0.20	0.18
	RMSE	103.7	104.2	111.3	148.6	170.7	185.9
	A%	89.1	88.3	89.1	81.8	84.4	85.8
Silt	R ²	0.65	0.66	0.66	0.51	0.39	0.31
	RMSE	112.4	111.0	111.1	126.3	141.7	154.9
	A%	93.5*	93.1*	93.5*	90.3*	91.4*	91.2*
Sand	R ²	0.62	0.64	0.62	0.51	0.42	0.36
	RMSE	155.2	150.5	153.8	174.9	198.1	216.1
	A%	94.3*	94.8*	93.9*	91.5*	93.0*	92.9*

*90% of the values within 95% significance interval

Table 2. Cross validation parameters of the complete procedure (Ciampalini et al., 2014).

Une illustration des cartes produites est fournie ci-après. Les grandes tendances texturales des sols de la région y sont bien représentées et sont cohérentes avec les résultats attendus, comme par exemple la couverture limoneuse de la Beauce et celle, sableuse, de la Sologne. On observe également un phénomène assez général d'enrichissement en argile avec la profondeur qui est cohérent avec la nature des matériaux parentaux et avec la pédogénèse régionale.

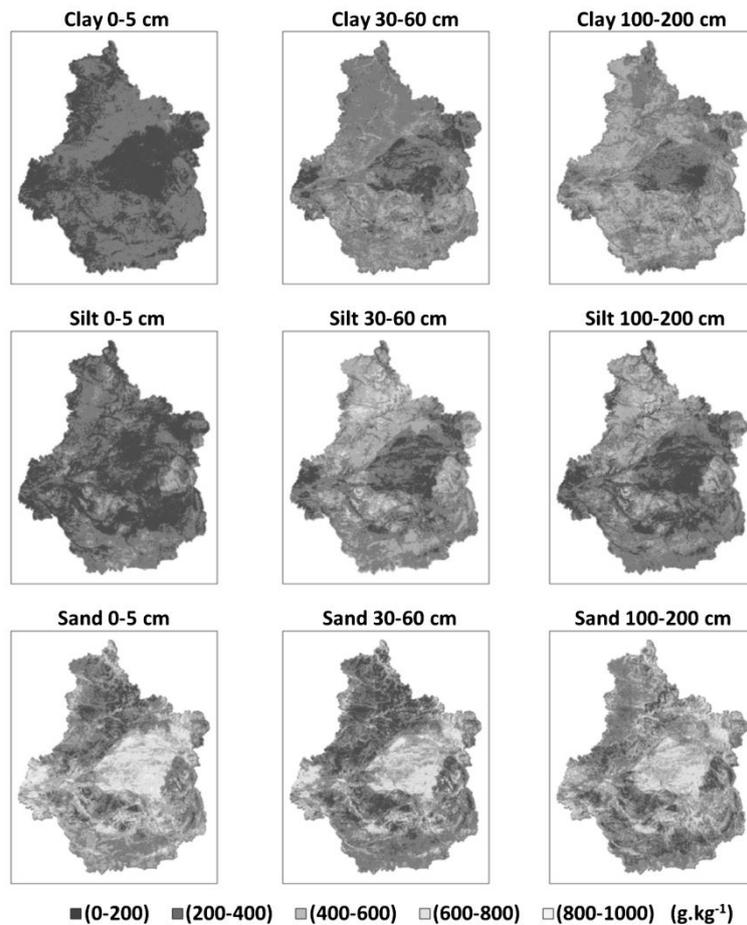


Fig. 1. Mean predicted values for clay, silt and sand content for some selected classes of soil depth in the French region Centre (after Ciampalini et al., 2014)

- Nous avons également pu démontrer le potentiel des données gammamétriques aéroportées pour la réalisation de ce type de produits, et pour la cartographie numérique des propriétés des sols en général (Ciampalini et al., 2014a et b, Richer de Forges et al., 2014 ; Martelet et al., 2014).
- Pour la France entière nous avons généré un premier produit « carbone » (Mulder et al., 2015 ; 2016), et des produits « profondeur du sol » (Lacoste et al., 2014, Lacoste et al., en révision). L'ensemble des données « primaires » de *GlobalSoilMap* (c'est-à-dire celles qui ne nécessitent pas l'application de fonctions de pédotransfert) a été modélisé dans une procédure automatisée (Mulder et al., en préparation).

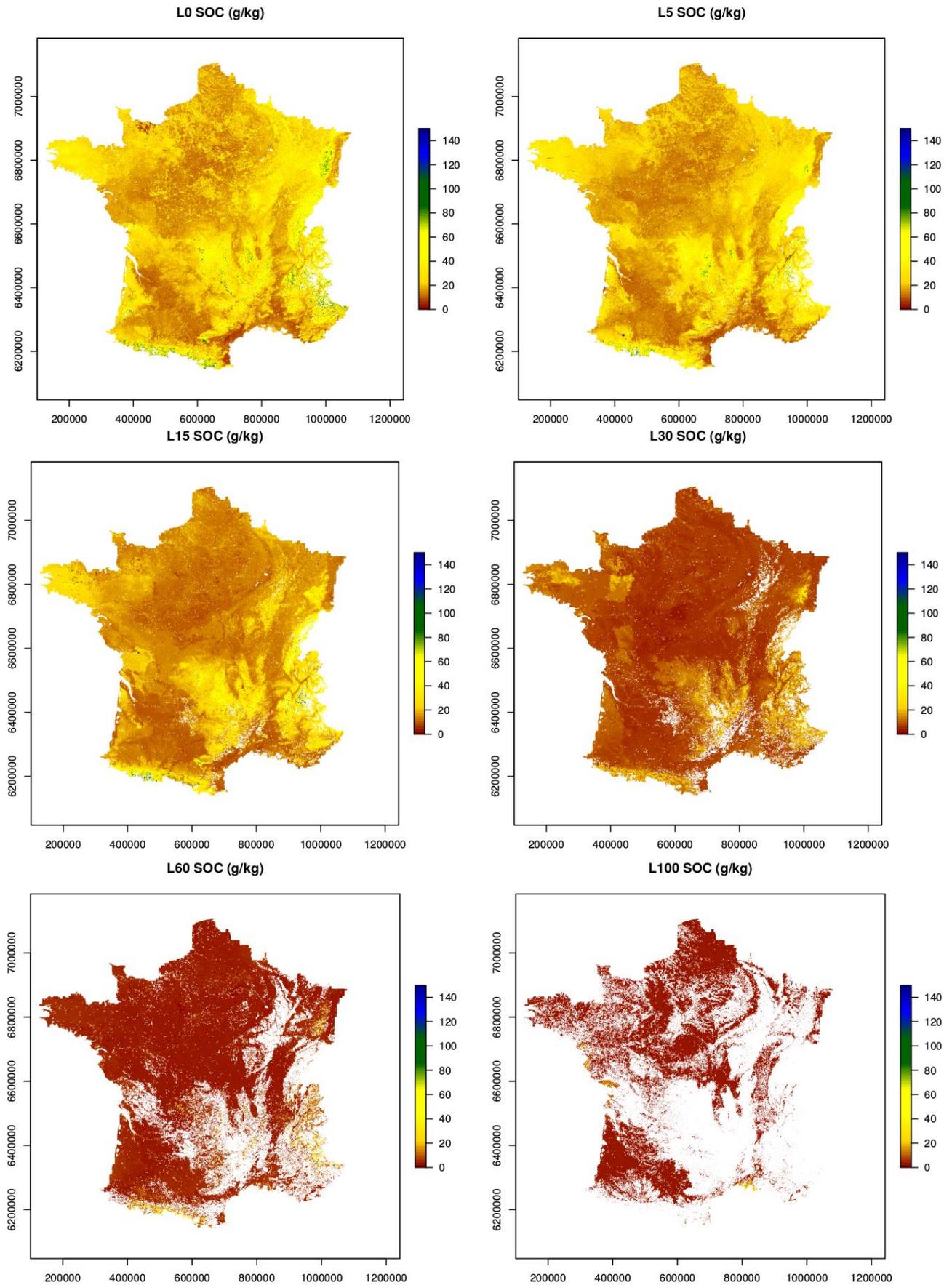


Figure 2 : estimation des teneurs en carbone organique des sols pour les 6 épaisseurs définies dans le projet *GlobalSoilMap* (Mulder et al., 2016)

La figure 2 illustre le type de produits que nous avons réalisés pour la France entière.

La comparaison du produit *GlobalSoilMap*-France avec les produits européens et mondiaux (Mulder et al., 2016) montre clairement une surestimation systématique (du simple au double) de ces derniers en ce qui concerne le carbone organique. Le biais présent dans les prédictions mondiales et européennes a pu être vérifié de façon indépendante en confrontant les valeurs prédites par les modélisations européenne et mondiale avec les observations du RMQS.

Ce biais est attribuable à différentes raisons :

- Le faible nombre de profils « français » dans les bases internationales
- Le « biais » dans la représentativité de ces profils, dont les teneurs en carbone sont nettement plus élevées que la moyenne nationale
- Une modélisation qui, lorsqu'elle est effectuée à ces échelles, privilégie le poids des grands gradients climatiques mondiaux ou européens
- L'utilisation de données externes à des résolutions qui ne permettent pas de refléter des phénomènes géomorphologiques, comme par exemple, la pente et son effet sur l'érosion
- Une mauvaise prise en compte de l'occupation du sol
- Une calibration des modèles sur des données qui ne reflètent pas l'étendue du domaine de prédiction.

Une procédure automatique a été développée pour cartographier l'ensemble des propriétés "primaires" de *GlobalSoilMap* pour la France métropolitaine (Mulder et al., in prep). Les meilleurs résultats ont été obtenus pour le pH et les teneurs en sables et en limons. Les teneurs en argile, en carbone organique, et la capacité d'échange des cations présentent des précisions acceptables, tandis que les prédictions des éléments grossiers et de la profondeur du sol sont les moins bonnes. Globalement, les modèles développés se sont révélés relativement robustes et non biaisés, malgré des intervalles de confiance relativement larges et croissant avec la profondeur.

Valorisation scientifique

Le projet a donné lieu à de nombreuses communications lors de la première conférence *GlobalSoilMap* organisée par InfoSol (7-9 octobre 2013). Sur les 78 articles édités dans un ouvrage publié par *Taylor&Francis* (Arrouays et al., 2014b), 7 se rapportent directement aux travaux menés dans le cadre de ce pari scientifique. Des communications ont également été présentées au colloque Digital Soil Mapping (Nanjing 2014), aux conférences EGU, ainsi qu'au dernier colloque Pedometrics (2015).

Des articles dans des revues à comité de lecture international ont été produits (Mulder et al., 2015; 2016) ou sont soumis (Lacoste et al, en révision pour *Geoderma Regional*) ou en préparation (Mulder et al., en préparation pour *PLoS one*).

En parallèle, un article de synthèse a été publié dans une revue à fort impact (Arrouays et al., 2014) renforçant la position d'InfoSol comme l'un des leaders mondiaux en matière de cartographie numérique des sols.

La valorisation par des articles dans *Etude et Gestion des Sols* a également été significative.

InfoSol est en cours de finalisation de la première version d'une cartographie nationale des propriétés *GlobalSoilMap* (granulométrie, pH, densité apparente, pourcentage volumique d'éléments grossiers, CEC, carbone, profondeur des sols et réservoir utile) (Mulder et al., in prep), en s'appuyant sur ses travaux récents en matière de cartographie du carbone sur l'ensemble du profil (Mulder et al., 2015, 2016) et de la profondeur des sols (Lacoste et al., 2014). La production scientifique devrait comporter un article scientifique de synthèse (revue visée, PLoS One) et un (ou des) « data-papers ».

Valorisation nationale et régionale

La version nationale des produits *GlobalSoilMap* est en cours d'expertise par un certain nombre de nos partenaires régionaux. Les retours dont nous disposons montrent que le produit montre des prédictions cohérentes et peu biaisées, bien que perfectibles. L'objectif de cette expertise est multiple :

- Obtenir un regard critique « externe » sur les produits et sur leur qualité prédictive
- Lancer éventuellement des travaux pour une déclinaison régionale de ce type de produits
- Obtenir l'aval de nos partenaires régionaux pour mettre en ligne le produit national, sans attendre.

Les travaux ont été présentés auprès de nos partenaires régionaux lors de plusieurs séminaires.

Principales publications directement issues du Pari Scientifique

Ciampalini, R., Martin, M., Saby, N., Richer de Forges, A.C., Arrouays, D., Nehlig, P., Martelet, G. (2014). Soil texture *GlobalSoilMap* products for the French region "Centre". In: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne C. Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system* (p. 121-126). London : CRC Press.

Ciampalini, R., Martin, M., Saby, N., Richer de Forges, A.C., Arrouays, D., Nehlig, P., Martelet, G. (2014). Modelling soil particle-size distribution in the region "Centre" (France). In: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne C. Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system*. USA : CRC Press (Taylor & Francis Group).

Lacoste, M., Martin, M., Saby, N., Paroissien, J.-B., Lehmann, S., Richer de Forges, A.C., Arrouays, D. (2014). Carbon content and stocks in the O horizons of French forest soils. In: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne C. Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system* (p. 91-97). London : CRC Press.

Lacoste, M., Mulder, V.L., Richer de Forges, A.C., Martin, M., Arrouays, D. (*en révision pour Geoderma Regional*). Evaluating large-extent spatial modelling approaches: a case study for soil depth for France

Martelet, G., Nehlig, P., Arrouays, D., Messner, F., Tourlière, B., Laroche, B., Deparis, J., Saby, N., Richer de Forges, A.C., Jolivet, C., Ratié, C. (2014). Airborne gamma-ray spectrometry: potential for regolith - soil mapping and characterization. In: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne C. Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system* (p. 401-408). USA : CRC Press (Taylor & Francis Group).

Mulder, V. L., Lacoste, M., Martin, M., Richer de Forges, A.C., Arrouays, D. (2015). Understanding large-extent controls of soil organic carbon storage in relation to soil depth and soil-landscape systems. *Global Biogeochemical Cycles*. DOI : 10.1002/2015GB005178

Mulder, V. L., Lacoste, M., Richer de Forges, A., Martin, P., M., Arrouays, D. (2016). National versus global modelling the 3D distribution of soil organic carbon in mainland France. *Geoderma*, 263, 16-34. DOI : 10.1016/j.geoderma.2015.08.035

Mulder, V.L., Lacoste, M., Richer de Forges, A.C., Arrouays, D. (*in preparation for PLoS One*). *GlobalSoilMap France: High-resolution spatial modelling the soils of France up to two meter depth*.

Richer de Forges, A.C., Martin, M., Saby, N., Arrouays, D., Martelet, G., Tourlière, B. (2014). A preliminary analysis of topsoil organic carbon contents and stocks spatial distribution in a region of France (Région Centre). In: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne C. Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system* (p. 197-200). CRC Press.

Saby, N., Arrouays, D., Jolivet, C., Martin, M., Lacoste, M., Ciampalini, R., Richer de Forges, A.C., Laroche, B., Bardy, M. (2014). National soil information and potential for delivering GlobalSoilMap products in France: a review. In: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne C. Richer de Forges, Alex B. McBratney, dir., *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system* (p. 69-77). London : CRC Press.

Publications et communications auxquelles le Pari Scientifique a contribué

Arrouays, D. (2014). *GlobalSoilMap : une nouvelle base de données numérique à haute résolution spatiale des propriétés des sols du Monde*. Presented at Séminaire du Département Environnement et Agronomie "Les Bases de données SOL", Orléans, FRA (2014-09-11 - 2014-09-12).

Arrouays, D. (2015). *Vers une base de données mondiale des propriétés des sols ? : GlobalSoilMap*. Presented at Atelier du RMT Sols et Territoires, Paris, FRA (2015-06-18 - 2015-06-18).

Arrouays, D., Grundy, M. G., Hartemink, A. E., Hempel, J. W., Heuvelink, G. B. M., Hong, S. Y., Lagacherie, P., Lelyk, G., McBratney, A. B., McKenzie, N. J., Mendonca-Santos, M. D. L., Minasny, B., Montanarella, L., Odeh, I. O. A., Sanchez, P. A., Thompson, J. A., Zhang, G.-L. (2014). GlobalSoilMap : toward a fine-resolution global grid of soil properties. *Advances in Agronomy*, 125, 93 - 134. DOI : 10.1016/B978-0-12-800137-0.00003-0

Arrouays, D., Hempel, J., McBratney, A., McKensie, N., Hartemink, A., MacMillan, R., Lagacherie, P. (2014). Vers une cartographie numérique des propriétés des sols du monde : le programme GlobalSoilMap. In: *12e Journées d'Etude des Sols. Le sol en héritage* (p. 7-14). Presented at 12. Journées d'Etude des Sols (JES), Le Bourget du Lac, FRA (2014-06-30 - 2014-07-04).

Arrouays, D., McKenzie, N.J., Hempel, J., Richer de Forges, A.C., McBratney, A.B. (Eds) (2014). *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system*. London, GBR : CRC Press (Taylor & Francis Group). 478 p.

Daroussin, J., Gallant J. (2014) A python script to produce datasets to support GlobalSoilMap mapping of soil properties. In: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne C. Richer de Forges, Alex McBratney, dir., *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system* (p. 307-312). Londres, GBR : CRC Press.

Laroche, B., Richer de Forges, A.C, Saby, N., Martelet, G., Tourlière, B., DeParis, J., Messner, F., Wetterlind, J., Moulin, J., Froger, D., Arrouays, D. (2013). Potentiel de la spectrométrie gamma aéroportée pour la cartographie des sols et du régolithe : une mini-revue et des premiers exemples en régions Centre et Limousin. *Etude et Gestion des Sols*, 20 (1), 15-28.

Martelet, G., Druvin, S., Tourlière, B., Saby, N., Perrin, J., DeParis, J., Prognon, F., Jolivet, C., Ratié, C., Arrouays, D. (2013). Regional Regolith Parameter Prediction Using the Proxy of Airborne Gamma Ray Spectrometry. *Vadose Zone Journal*, 12 (4). DOI : 10.2136/vzj2013.01.0003

Mulder, V. L., Lacoste, M., Martin, M., Arrouays, D. (2014). *Determining land systems of pedogenesis for large-scale soil modelling*. Presented at 6. Global Workshop on Digital Soil Mapping, Nanjing, CHN (2014-11-11 - 2014-11-14).

Murciano, V., Paroissien, J.-B., Saby, N., Richer de Forges, A.C., Martin, M., Emilion, R., Arrouays, D. (2015). Estimation des incertitudes liées à la prédiction ponctuelle de variables pédologiques à partir de bases de données géographiques sur les sols. *Etude et Gestion des Sols*, 22, 9-18.

Vaysse, K., Arrouays, D., McKenzie, N. J., Coste, S., Lagacherie, P. (2014). Estimation of GlobalSoilMap.net grids cells from legacy soil data at the regional scale in Southern France. In: Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne C. Richer de Forges, Alex McBratney, dir., *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system* (p. 133-138). Londres, GBR : CRC Press.