

DE LA NÉCESSITÉ D'UNE CONNAISSANCE DE LA DISTRIBUTION DES SOLS ET DE LEURS PROPRIÉTÉS DANS L'ESPACE. LES ÉVOLUTIONS THÉMATIQUES ET SCIENTIFIQUES MAJEURES DES DERNIÈRES DÉCENNIES

par Dominique **Arrouays**¹ et Christian **Walter**²

Celui que l'on considère comme le père de la pédologie (Vassili Dokuchaev) était à l'origine un géographe et un cartographe. C'est en parcourant la Russie et en réalisant des milliers d'observations qu'il a démontré la zonalité climatique des sols de Russie et produit les premières cartes de sol à des échelles continentales. Soixante-treize ans plus tard, c'est en parcourant et en cartographiant les sols du Nord de la France que Marcel Jamagne mettait en évidence l'une des plus fameuses chrono-séquences d'évolution des sols limoneux en climat tempéré. Incontestablement, l'étude de la distribution spatiale des sols est un outil majeur de compréhension de leur pédogenèse. Pour autant, les évolutions récentes de l'analyse spatiale de la distribution des sols et de leurs propriétés ont rarement été guidées par le souci de l'étude de la pédogenèse. Elles sont principalement liées aux émergences parallèles de nouveaux enjeux et de nouvelles techniques.

L'évolution des enjeux liés à la connaissance de la distribution spatiale des sols et de leurs propriétés

Jusqu'au milieu des années 1980, les enjeux principaux étaient liés à la production végétale et forestière. La cartographie des sols était vue comme un appui à l'agronomie et à la foresterie : conseil agronomique, potentiels de rendements, aptitudes et contraintes à une production, drainage, irrigation, aménagements fonciers... La fin des années 1980 a vu l'émergence de problématiques environnementales (transferts de polluants vers les eaux superficielles et souterraines, érosion...), renforçant ainsi l'importance de la connaissance de la distribution spatiale des sols au sein de bassins versants. Le rôle des sols comme source ou puits de gaz à effet de serre (GES), a apporté une dimension globale, planétaire, et une dimension temporelle à des pas de temps plus courts liées aux flux de GES. Les années 1990 ont vu émerger des applications sur les contaminants, liées en partie aux problématiques des épandages de boues de STEP. Les années 2000 sont caractérisées par l'apparition de la notion de services écosystémiques, et par la prise en compte de la nécessité de la surveillance, la prévision et la protection de l'évolution de la qualité des sols et des services qu'ils rendent. Depuis 2010, le sol est considéré comme un enjeu global pour l'humanité (Global Soil Partnership, FAO, 2013) de par sa position centrale en ce qui concerne la sécurité alimentaire, l'approvisionnement en eau, le changement climatique, la désertification, les énergies renouvelables et la protection de la biodiversité. Sont apparues alors les nécessités de prendre en compte le sol dans les grandes conventions internationales et de constituer des bases de données géographiques actualisables et utilisables à tous les niveaux d'action (du monde à la parcelle). Aujourd'hui, le concept de « soil security » se développe et la nécessité d'une surveillance globale des sols du monde est reconnue.

Les évolutions technologiques et scientifiques majeures

Les dernières décennies sont marquées par des évolutions technologiques et scientifiques qui ont profondément renouvelé nos concepts et nos méthodes. L'apparition de la télédétection (Landsat, 1972) constitue un tournant majeur dans l'utilisation de données numériques spatialisées. Les années 1980 sont caractérisées par le développement des techniques statistiques et géostatistiques appliquées à la cartographie et à la classification des sols, celui de l'informatique et de la constitution de bases de données. De nouvelles

¹ Médaille d'or de l'Académie. INRA InFolSol, US 1106, Orléans, France.

² Membre correspondant de l'Académie. UMR SAS, Agrocampus-Ouest, Rennes, France.

généralisation de l'utilisation des systèmes d'information géographique, la mise en place de bases de données couplant les aspects graphiques et sémantiques (en France, DoneSol), une multiplication des approches géostatistiques, et l'apparition de la cartographie numérique des sols. On assiste également à une augmentation exponentielle des données issues de capteurs embarqués ou de terrain (géophysique), et à une mise en format numérique de très nombreuses couches d'information (géologie, occupation du sol...). C'est également dans cette période que sont créées des bases transnationales harmonisées (i.e. Base de Données Géographique des Sols d'Europe), et que la notion d'approche multi échelles se développe. Dans les années 2000, on observe un développement très important des méthodes de cartographie numérique. L'ancien modèle « CLORPT » de Jenny (1948) est revisité sous une forme spatiale dite « SCORPAN » (McBratney et al., 2003), qui ajoute aux déterminants de la pédogenèse une composante spatiale. Ce tournant est en partie lié aux progrès méthodologiques, mais surtout à une véritable explosion du nombre de produits numériques disponibles (Modèle numérique d'Altitude mondial au pas de 90-m, données spectrométriques et gammamétriques). Dans ce cadre, la notion classique « d'échelle » disparaît progressivement : on parle de couverture, de résolution spatiale, de grain de la mesure, de support géographique de prédiction, d'incertitude. Dans la même période, des opérations de « sauvetage » de données anciennes par mise en bases de données se multiplient dans le monde, portées en partie par le programme mondial *GlobalSoilMap* (Australie, USA, Afrique), mais aussi par le souci de ne pas perdre tous les investissements antérieurs (France, Belgique, Europe, Corée du Sud, Thaïlande, Indonésie, Brésil, Mexique, Canada). Les approches d'évolutions spatio-temporelles, rétrospectives ou prédictives, se multiplient.

Aujourd'hui et demain ?

Nous assistons à un développement exponentiel des capacités de calcul et de stockage des données ainsi que des outils et des méthodes de traitement des données spatiales ou spatio-temporelles. En parallèle - et lorsque les moyens le permettent - un effort est porté sur l'acquisition de nouvelles observations sur des cartes ou des données ponctuelles anciennes pour : 1) estimer leurs incertitudes, 2) actualiser ou réviser les cartes, 3) cartographier des changements et en comprendre ou modéliser l'origine. Des évolutions récentes concernent également l'acquisition de données analytiques en masse (spectrométrie, pyroséquençage...), l'apparition de cartographies multi dimensionnelles et/ou en 3 D, voire en 4 D, et des avancées sur l'estimation des incertitudes associées aux prédictions spatiales. Face à la multiplication des approches de prédiction des types de sol ou de leurs propriétés, des recherches portent également sur les méthodes à mettre en œuvre pour « mixer » le plus intelligemment possible des prédictions spatiales différentes. D'autres enjeux sont un meilleur couplage de l'analyse de la distribution des sols et de leur évolution temporelle, dont la cinétique s'accélère. Enfin, au plan thématique, les sols des espaces urbains et péri-urbains, relativement délaissés jusqu'ici par les approches spatiales, représentent probablement un enjeu thématique et méthodologique majeur pour le futur.

La production de ces nouvelles générations de données spatiales suppose l'association de compétences fortes dans le traitement des données et en science du sol, pour pleinement tirer parti des progrès technologiques tout en conservant une approche holistique des sols. L'utilisation de ces nouvelles données à haute résolution spatiale, mises en ligne et susceptibles d'être actualisées fréquemment, suppose, elle, leur appropriation par des utilisateurs qui sachent les intégrer dans l'analyse de problématiques allant de questions globales à des applications très locales.