

Cartographie digitale des sols : entre archéologie, agriculture et aménagement du territoire

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 04.01.Q09

2021, révisée en mai 2025

Michel DABAS, CNRS

Mots clés : archéologie, rendement, sol, cartographie, agriculture de précision, SIG

Aujourd'hui la notion de cartographie digitale des sols a pris son essor, et l'agriculture en bénéficie pour une meilleure gestion des intrants et des rendements.

Après avoir décrit les trois types d'espace dans lesquels nous évoluons : espace réel, espace géométrique (celui de la cartographie) et espace cognitif (celui du raisonnement et de l'interprétation), cette fiche montre que les travaux de détection et de cartographie géophysique utilisés en archéologie ont pu être transposés pour les conduites culturelles.

En agriculture, les cartes de rendement – même si elles ont servi de point de départ à la mise en évidence de la variabilité intra-parcellaire – ne sont pas suffisamment stables dans le temps pour servir de base déterministe à un raisonnement agronomique. La carte de sol obtenue par les méthodes géophysiques et quelques analyses chimiques et physiques est plus stable à l'échelle humaine ; elle peut alors être croisée à des modèles agronomiques pour être interprétée sous forme de cartes de préconisations intra-parcellaires.

Développées pour l'agriculture céréalière, ces cartographies ont été étendues au domaine viticole et à des cultures plus spécifiques (cane à sucre, arboriculture). Ces cartes géophysiques de sol ont trouvé aussi des applications dans d'autres domaines comme l'hydrogéologie ou l'aménagement du territoire (prévention des aléas de chantier).

L'essor des *Systèmes d'Information Géographique* (SIG) et leur version sur Internet (web-SIG) permet de stocker, croiser et diffuser cette information spatiale.

Les concepts d'espace et leurs cartographies

Afin de décrire l'espace, Nicolai Hartmann¹ distingue trois types d'espace (*Raum*) : l'espace réel (ou espace physique, *Realraum*), l'espace géométrique (*Geometrische Raum*) et l'espace cognitif (*Anschauungsraum*).

L'**espace réel** est celui dans lequel nous vivons, dans lequel des événements physiquement réels ont lieu. Il n'existe qu'un seul espace réel avec seulement trois dimensions. Cependant, il n'est pas identique au monde empirique : il n'est pas mesurable en lui-même, mais grâce aux objets matériels qui le peuplent ; ces objets ont une forme et une taille qui peuvent être décrites, pesées, mesurées et éventuellement cartographiées dans l'espace géométrique. On remarquera que la notion de temps, capitale dans les raisonnements archéologiques, n'est pas introduite ici.

Les deux autres catégories d'espace ne sont en revanche pas physiquement réelles :

- L'**espace géométrique** décrit un principe spatial idéal, et en tant que tel, continu, homogène et illimité ; en termes simples, cela pourrait également être appelé un *espace de cartographie*. L'espace géométrique contient alors essentiellement tous les objets matériels qui

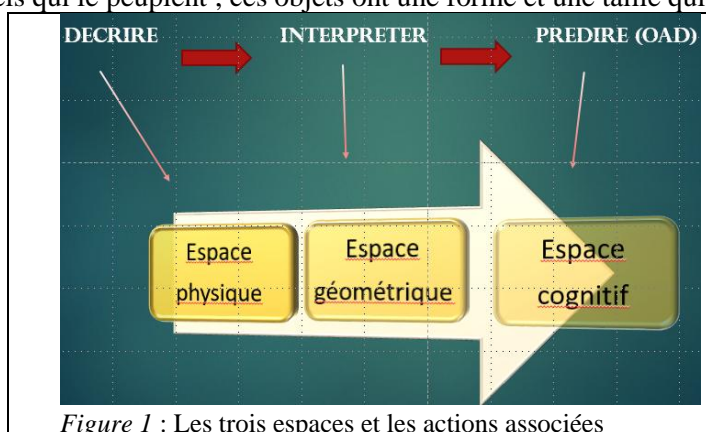


Figure 1 : Les trois espaces et les actions associées

existent indépendamment les uns des autres, en termes d'espace et de temps ; mais les objets abstraits (par exemple, des frontières politiques) pourraient également être représentés dans ces espaces géométriques.

¹ Nicolai HARTMANN : *Philosophie der Natur*, Berlin, New York: De Gruyter, 1980.

<https://doi.org/10.1515/9783110838763>

page 1 Fiche consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "**Publications**" puis "**Table des matières des documents de l'Encyclopédie**".

Les utilisations les plus courantes de l'espace géométrique en archéologie concernent la cartographie de l'espace réel sur des plans, comme la cartographie des résultats de prospection ou des cartes de répartition d'objets (par exemple : céramiques, silex, etc.).

- Dans l'espace cognitif de notre conscience, la perception, la pensée et l'expérience interviennent. Cet espace n'est pas neutre, mais subjectif : les expériences, les valeurs, les attitudes et les sentiments religieux agissent comme des filtres façonnés, culturellement et socialement, de notre perception et sont décisifs pour la forme et la structure de l'espace visuel². Ce distinguo avec l'espace géométrique est important : les cartes archéologiques ou géophysiques peuvent (doivent) être présentées à la fois sous forme de données brutes (les mesures) et de leur interprétation (espace géométrique) souvent limité à trois catégories : point, ligne, surface.

Cartographie digitale : de l'archéologie à l'agriculture

On retrouve en archéologie ces trois notions d'espace : l'archéologie environnementale (*Environmental Archaeology*) pour l'espace physique, l'archéologie du site (*Settlement Archaeology*) pour l'espace géométrique décrivant les sites et leurs répartitions, et l'archéologie du paysage (*Landscape Archaeology*) pour l'espace cognitif cherchant à comprendre le pourquoi des implantations humaines.

Le terme d'archéologie spatiale (*Spatial Archaeology*) regroupe ces trois types pour en faire une synthèse.

La profusion des termes – traduisant de fait une spécialisation de plus en plus poussée – ne doit pas faire oublier l'objet des études : la découverte et la cartographie des structures anthropiques enfouies dans le sol, base des raisonnements des archéologues. La carte est donc la base de ces raisonnements et les *Systèmes d'Information Géographique* (SIG) en sont l'outil de représentation mais aussi de modélisation.

À la fin des années 1990, les travaux instrumentaux en géophysique appliquée à l'archéologie ont ouvert la voie à une cartographie non destructive du très proche sous-sol (profondeurs 0 à -2 m) sur de grandes étendues agricoles, tout en bénéficiant d'une résolution spatiale infra-métrique (les analyses auparavant étaient effectuées sur des surfaces généralement de moins d'un hectare). La première application était la reconnaissance du potentiel archéologique avant les grands travaux (autoroutes, TGV) autrement dit anticiper la découverte archéologique : car si elle était tardive, elle générerait un aléa important dans la conduite des travaux. Il est apparu que ce changement d'échelle permettait non seulement de cartographier les structures archéologiques sur de grandes étendues, mais aussi leur contexte, autrement dit le sol.

Le cas du sol

En effet, le sol peut être abordé de différentes manières : support de l'agriculture, ou celui de nos infrastructures, ou celui de notre Culture. Étudier le sol aura donc des implications à la fois en agronomie (rendements, intrants, pollution, ...), en génie civil (stabilité, vides, érodabilité, glissements de terrain...) ou en archéologie (taphonomie, détectabilité, ...).

Afin d'étudier le sol, nous disposons de moyens destructifs (tarière, pelle mécanique, truelles) et de moyens non-destructifs comme la prospection aérienne (photographie panchromatique et infrarouge, caméras multi et hyper-spectrales, LiDAR pour les modèles numériques de terrain) ou les prospections géophysiques ; seule la prospection géophysique permet de détecter ce qui se trouve sous la surface du sol.

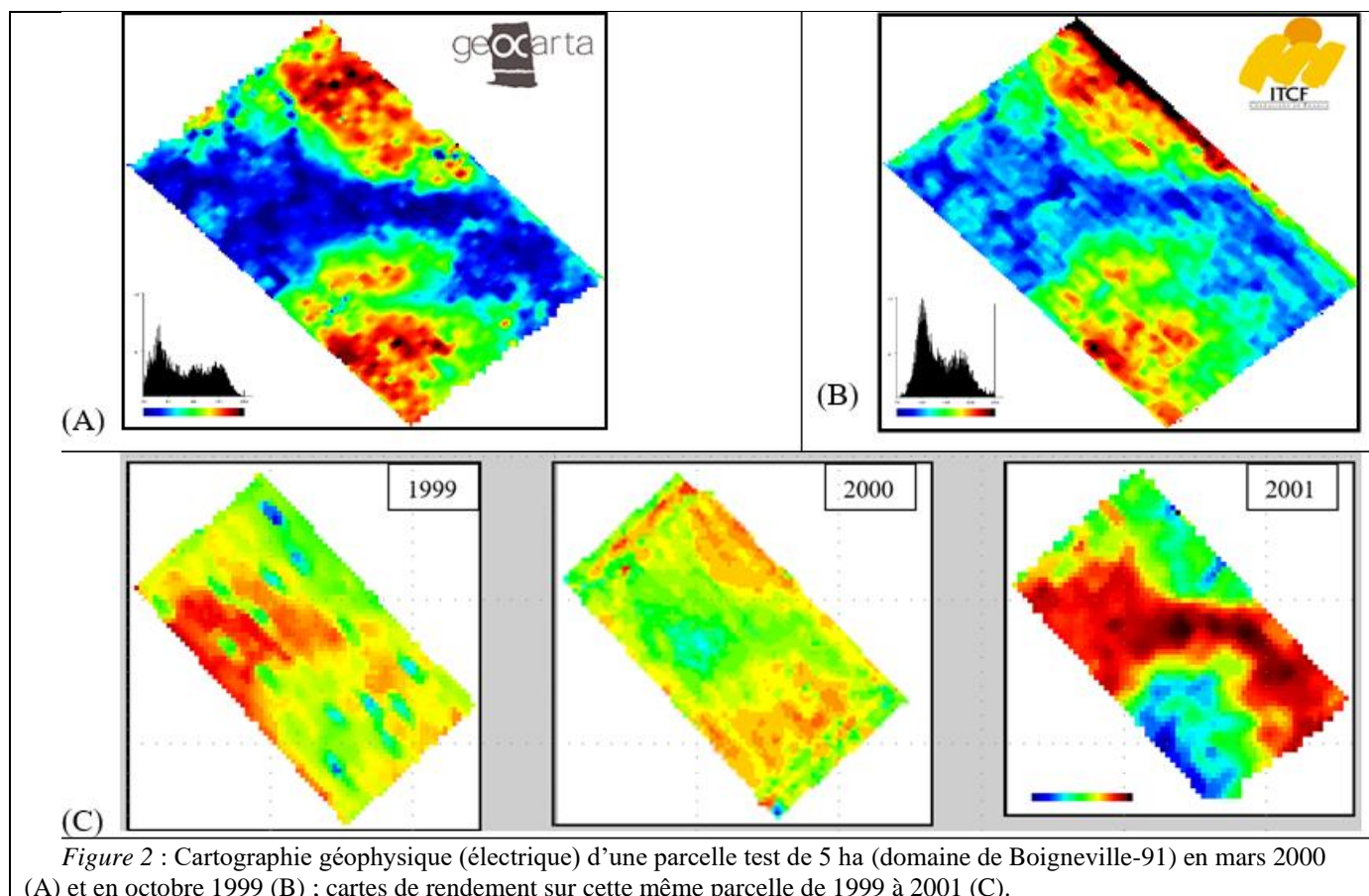
Que ce soit par des moyens destructifs ou non, il s'agit de caractériser des contrastes de propriétés physiques. Si l'on dispose de suffisamment de mesures associées à différentes positions spatiales, on peut aboutir à des cartes.

Pour qu'une carte soit exploitable, cinq conditions doivent être remplies : 1) il existe un contraste physique qui reflète un paramètre utile à l'interprétation (exemple : corrélation argilosité-résistivité avec la méthode électrique), 2) ce contraste est suffisamment important pour être mesurable, 3) on dispose de la technologie pour le mesurer rapidement, 4) on est capable de déceler ce signal dans la carte (échantillonnage), 5) on est capable de le comprendre (appréhender) puisque, la carte décrite, il faudra l'interpréter, ce qui permettra de rentrer dans l'espace des prédictions (*OAD-outils d'aide à la décision*).

Au début des années 2000, on a pu remarquer que certaines des premières cartes de rendement (produites dans le cadre de l'agriculture de précision) présentaient des similitudes avec les cartes géophysiques, en particulier celles obtenues avec les méthodes électriques. L'idée qui commençait à se développer aux États-Unis, était alors d'utiliser les cartes de rendement dans le cadre de l'agriculture de précision, pour gérer/piloter les doses d'intrants à l'échelle intra-parcellaire, afin d'optimiser les rendements. Mais les rendements évoluant chaque année, ne baser un raisonnement agronomique que sur cette variable était problématique, même en agrégeant les données sur plusieurs années : en effet, la carte de rendement inclut de nombreuses variables non stationnaires, et seul le sol à l'échelle humaine est la variable à peu près stable.

² Paul L. Knox et Sallie A. Marston : *Places and Regions in Global Context: Human Geography*, 2nd édition, Univ. of Arizona, 2001, ISBN-9780130168313. voir page 44

La start-up Géocarta³ a eu alors l'idée d'utiliser les données issues des nouvelles méthodes de cartographie géophysique pour l'archéologie (résistivité électrique et conductivité électrique), d'une variable stable permettant de définir la variabilité spatiale à l'intérieur des parcelles (*Within Field Variability*) et définir les zones où le rendement serait a priori homogène.



Ce zonage rapide (jusqu'à 100 ha/jour), corrélé à des analyses chimiques et physiques, a servi de base aux préconisations agronomiques à l'échelle intra-parcellaire. Les études ont montré ainsi l'existence de corrélations importantes avec des paramètres comme la profondeur du sol, le taux d'argilosité, la texture, facteurs importants limitants la croissance de la plante. Le croisement avec des modèles agronomiques a permis alors d'aboutir à des cartes thématiques, comme celles de profondeur du sol, de pierrosité ou de réserve utile, avec des résolutions spatiales métriques ; ces cartes permettent un pilotage précis de l'azote ou du phosphore par exemple.

Développées pour l'agriculture céréalière, ces cartographies ont été étendues au domaine viticole, ou à des cultures plus spécifiques comme la canne à sucre (plus tardivement).

Cartographie digitale : évolutions

La production de cartes digitales des sols, grâce en particulier aux méthodes géophysiques, a pu s'étendre à d'autres domaines comme celui de l'hydrogéologie, avec la délimitation au sein de bassins versants des zones les plus vulnérables à la pollution diffuse agricole, ou bien encore à l'aménagement du territoire (caractérisation des aléas sur les chantiers de type autoroutes, TGV, enfouissement de câbles, etc.).

La manipulation de masses de données de plus en plus importantes a été favorisée par les SIG, puis par les solutions sur Internet (web-SIG) permettant de stocker, partager et surtout croiser des quantités importantes de données aboutissant à des Atlas de sols. Cette évolution a suivi celle du partage général des données dans le monde universitaire et de l'entreprise, avec des architectures de plus en plus ouvertes. L'ouverture vers des serveurs de données externes (BRGM, Géoportail, Google, Inrae, NASA, OSM, etc....) et, ce de manière complètement transparente, est capitale pour enrichir les interprétations.

Les web-SIG ont montré leur puissance ; ils ne remplacent pas l'expertise humaine, mais leur richesse vient des données partagées et des algorithmes pouvant être implantés pour modifier directement les cartes, qui deviennent alors

³ www.geocarta.net

page 3 Fiche consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "**Publications**" puis "**Table des matières des documents de l'Encyclopédie**".

dynamiques. Plusieurs experts peuvent interagir sur ces mêmes cartes et produire des résultats différents en fonction de leurs propres expertises.

La traçabilité des données devient capitale : des métadonnées doivent être produites et l'indexation des cartes possibles par des moteurs de recherche.

Ce qu'il faut retenir :

Basée sur les travaux de détection et cartographie des structures enfouies en archéologie, la cartographie des sols – par des moyens géophysiques (essentiellement la résistivité électrique) – a pu être appliquée à l'agriculture. Cette couche d'information, stable dans le temps et croisée avec des analyses physiques et chimiques ciblées, sert aux modèles de préconisation agronomique.

L'intérêt de ces cartes dépasse maintenant l'agronomie, et s'étend à l'hydrogéologie et à l'aménagement du territoire.

Les *Systèmes d'Information Géographique* (SIG) permettent de stocker, croiser et diffuser ces informations.

Pour en savoir plus :

- PANISSOD Cédric et al.: *Recent developments in shallow-depth electrical and electrostatic prospecting using mobile arrays*, *Geophysics*, 1998, 63, 5, 1542-1550. hal-02925689
- TABBAGH Alain et al.: *Soil resistivity: a non-invasive tool to map soil structure horizonation*, *Geoderma*, 2000, 97, 393-404. hal-02925487
- DABAS Michel et al.: *Using high-resolution electrical resistivity maps in a watershed vulnerability study*, *First Break*, 2012, 30, 8, 51-56. hal-02922141
- DABAS Michel : *Prospection archéologiques à grande échelle et géophysique pour les grands projets*, *Archéologies numériques*, 2017, 2, 2, 1-8. halshs-01636000
- DABAS Michel et al : *Caractérisation de la variabilité spatiale intraparcellaire des sols agricoles par mesure en continu de leur résistivité (méthode MuCEP)*, in : *Agriculture de précision Avancées de la recherche technologique et industrielle*, dir. P. Zwaenepoel, Educagri Editions, 2000, hal-02925185
- *Precision Agriculture*, éd. J. Stafford and A. Werner, Wageningen Academic Publishers, Muencheberg, 2000.
- MULLER Frank et DABAS Michel : *The role of EMI in development planning*, *Near Surface Geophysics*, ed. Willey, 2021, <https://doi.org/10.1002/nsg.12159>.