



HAL
open science

Characterising the morphology of agricultural plots at the scale of France

Thomas Puech, Catherine Mignolet

► **To cite this version:**

Thomas Puech, Catherine Mignolet. Characterising the morphology of agricultural plots at the scale of France. *Cybergeo: Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2022, 10.4000/cybergeo.39924 . hal-03897998

HAL Id: hal-03897998

<https://hal.inrae.fr/hal-03897998>

Submitted on 14 Dec 2022

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Caractériser la morphologie des parcelles agricoles à l'échelle de la France

Characterising the morphology of agricultural plots at the scale of France

Caracterizando la morfología de las parcelas agrícolas a la escala de Francia

Thomas Puech et Catherine Mignolet



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/cybergeo/39924>

DOI : [10.4000/cybergeo.39924](https://doi.org/10.4000/cybergeo.39924)

ISSN : 1278-3366

Éditeur

UMR 8504 Géographie-cités

Ce document vous est offert par INRAE Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement



Référence électronique

Thomas Puech et Catherine Mignolet, « Caractériser la morphologie des parcelles agricoles à l'échelle de la France », *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 1038, mis en ligne le 12 décembre 2022, consulté le 14 décembre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/39924> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.39924>

Ce document a été généré automatiquement le 12 décembre 2022.



Creative Commons - Attribution 4.0 International - CC BY 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Caractériser la morphologie des parcelles agricoles à l'échelle de la France

Characterising the morphology of agricultural plots at the scale of France

Caracterizando la morfología de las parcelas agrícolas a la escala de Francia

Thomas Puech et Catherine Mignolet

Les auteurs remercient les deux relecteurs anonymes pour la qualité de leur relecture, les commentaires et suggestions constructives qui ont permis d'aboutir à cet article. Ils remercient également P. Guillemin pour ses suggestions bibliographiques.

Introduction

- 1 Depuis le milieu du vingtième siècle, l'agriculture européenne et en particulier l'agriculture française ont connu de profondes mutations liées à la spécialisation des exploitations et des territoires (Jepsen *et al.*, 2015). Cette spécialisation s'est traduite par une concentration des activités d'élevage dans des bassins très productifs (Bretagne, Normandie) ou dans les zones marginalisées de montagne et par une céréalisation des grandes plaines du Nord de la France et du bassin aquitain ; les systèmes mixtes de polyculture élevage parviennent à se maintenir dans certaines régions qualifiées d'intermédiaires (Lorraine) ou en bordure des territoires spécialisés (bassin de la Seine). Cette spécialisation s'est aussi accompagnée d'un agrandissement des exploitations agricoles, notamment sous l'impulsion des politiques publiques nationales et européennes et de l'évolution des techniques agricoles permettant une artificialisation du milieu (machinisme, fertilisants minéraux, produits phytosanitaires, irrigation, drainage). Cet agrandissement des surfaces va généralement de pair avec un morcellement croissant des parcelles agricoles (Puech *et al.*, 2020), témoignant de l'héritage composite des parcelles agricoles (fusion d'exploitations agricoles, "dépouillement" lors des cessations d'activité). Or l'agrandissement des exploitations

agricoles (généralement réalisé sans création d'emplois supplémentaires sur les fermes) a entraîné la nécessité de rationaliser le travail. Francart et Pivot (1998) montrent que l'agrandissement et la simplification de la géométrie des parcelles en sont les deux principaux leviers. Ils mettent en avant que la manœuvre des outils agricoles (travail du sol, épandages, etc.) est l'un des principaux facteurs influençant le temps de travail sur les parcelles agricoles : le temps de travail par unité de surface est jusqu'à deux fois plus élevé dans le cas d'une parcelle très irrégulière par rapport à une forme rectiligne. Ce constat est d'autant plus vrai que les parcelles sont petites (moins de 2 ha). De la même façon, les auteurs montrent que le temps de travail par hectare décroît rapidement avec l'augmentation de la surface des parcelles, avec une stabilisation à partir de 3-4 ha.

- 2 Pour répondre aux problématiques liées (i) à l'augmentation de la taille et du morcellement des parcelles agricoles, (ii) à une volonté de rationaliser le travail agricole dans ces structures grandissantes (en particulier avec le développement d'outils de travail de plus en plus larges) et (iii) à une volonté politique de développer des filières agro-industrielles (Marochini, 1999), des opérations d'aménagement des territoires ont été mises en place depuis la fin des années 1950. Ces actions de réorganisation (au premier rang desquelles les remembrements agricoles) ont eu des conséquences considérables sur les activités agricoles et les paysages agricoles ruraux : uniformisation des paysages agricoles, destruction de plus de 835 000 km de haies entre 1945 et 1983 en France (Philippe, Polombo, 2009), érosion de la biodiversité dans les territoires ruraux (Newbold *et al.*, 2015), etc. Si ces transformations résultent en partie de choix politiques, c'est la somme des décisions individuelles, prises à différents niveaux d'organisation de la parcelle au territoire, qui aboutit à l'évolution et la transformation des paysages ruraux (figure 1).

Figure 1 : Photographies aériennes de 4 régions agricoles différentes



Source : Géoportail.gouv.fr (photographies aériennes - prises de vue entre 2018 et 2019)
Echelle identique pour toutes les photographies

Localisation des photographies aériennes : a. région d'élevage de plaine (Bretagne), b. région d'élevage de montagne (Pyrénées), c. région de polyculture-élevage (Lorraine) et d. région viticole et grandes cultures (Champagne).

Puech, 2021

- 3 Plus généralement, la caractérisation des activités agricoles et de leur diversité (tant en termes d'organisations spatiales que de dynamiques temporelles) joue un rôle crucial pour produire des connaissances et (i) comprendre les processus liés à certaines problématiques environnementales s'exprimant à l'échelle paysagère (ressources en

eau, qualité de l'air, biodiversité, etc.), (ii) évaluer ou accompagner les politiques publiques visant à réduire l'impact des activités agricoles sur les territoires et à favoriser certains services écosystémiques comme la préservation des ressources naturelles ou de la biodiversité (Benoît *et al.*, 2012).

- 4 En effet, les outils de modélisation, mis en œuvre à ces fins à l'échelle des territoires et des paysages (impact des activités agricoles sur la contamination des ressources en eau, sur les émissions de gaz à effet de serre, sur la biodiversité, etc.), s'appuient sur une caractérisation des activités agricoles (pratiques culturales, conduites d'élevage, etc.). Or, cette caractérisation est la plupart du temps considérée comme une donnée d'entrée des outils de modélisation (et généralement résumée à des occupations du sol bien que certains travaux récents présentent des avancées majeures de ce point de vue – par exemple Murgue *et al.*, 2019 ; Puech *et al.*, 2020) et n'est pas centrale dans les questions de recherche bien que motrice dans les processus étudiés.
- 5 Du point de vue de la biodiversité, certains travaux récents d'écologues montrent une relation directe entre biodiversité et organisation spatiale des parcelles agricoles (Sirami *et al.*, 2019 ; Alignier *et al.*, 2020), particulièrement en termes de taille, forme et agencement dans l'espace. Or, la majorité des travaux de géographes ou d'agronomes sur l'objet "parcelle agricole" a été conduite dans les années 1970-1980 et assez peu de travaux récents centrés sur l'étude des parcelles agricoles ont été recensés. Parmi ces travaux récents, Wentz identifie deux catégories d'indicateurs pour caractériser la forme des parcelles agricoles : les indices uniques et les indices composites (Wentz, 2000). Les indices uniques, couramment utilisés en écologie du paysage, peuvent être regroupés en trois catégories (Demetriou *et al.*, 2013) : (i) l'indice de compacité, en particulier les rapports entre l'aire et le périmètre (Gaujour, 2010 ; Gyzemise *et al.*, 2014 ; Ma *et al.*, 2013), dont les premières références remontent à Gravelius (Gravelius, 1914, cité par Bendjoudi, Hubert, 2002), (ii) les indices de bordure (McGarigal, Marks, 1994) et (iii) les indices de forme (Demetriou *et al.*, 2013).
- 6 Il est généralement admis que les formes spatiales des parcelles agricoles sont trop complexes et variées pour réduire leur caractérisation à partir d'un indicateur unique (Wentz, 2000). Aussi, les indicateurs composites (ou indicateurs multi-paramètres) font appel à des fonctionnalités mathématiques plus complexes, plus ou moins agrégées et standardisées, pour rendre compte de la diversité des formes spatiales. Ces indicateurs composites sont utilisés principalement dans le champ des *computer science* pour la reconception de paysages agricoles (en particulier pour des opérations de remembrement) et peu dans leur analyse (Demetriou *et al.*, 2013), notamment en raison de leur complexité d'interprétation. Certains auteurs décrivent les formes parcellaires simples mais pour des applications à des échelles spatiales fines (l'exploitation, la commune). Par exemple, Francart et Pivot (1998) décrivent les formes parcellaires en trois types : régulières (parcelles carrées ou rectangulaires), irrégulières (parcelles avec une ou deux pointes, au contour irrégulier ou constituées de deux parcelles élémentaires régulières) et très irrégulières (parcelles triangulaires, avec plus de deux pointes, ou composées de plus de deux parcelles élémentaires régulières). Lebeau (2002) décrit (i) des parcelles "en forme de lanière" ou de "rubans", "démésurément longs par rapport à leur largeur" pour décrire des paysages d'*openfield* au nord de la France et plus généralement en Europe centrale (figure 1d), ou (ii) des "parcelles massives, [...] presque carrées aux coins plus ou moins arrondis" sur la façade atlantique de l'Europe (figure 1a). Enfin, Dépigny (2007) utilise un indice de forme booléen : "forme ergonomique"/"forme

contraignante" à partir des travaux de Matheron (1970). Ces travaux abordent toutefois peu la diversité des morphologies parcellaires, leur caractérisation et leur organisation à l'échelle de grands territoires (voir la figure 1, illustrant une diversité de paysages agricoles français).

- 7 Si l'étude de la forme des parcelles agricoles trouve des applications dans différents domaines pour rationaliser, optimiser ou maximiser leurs fonctions (du point de vue technique, économique, écologique), très peu de travaux s'intéressent spécifiquement à caractériser la diversité des morphologies parcellaires, en particulier à des échelles macro-régionales, alors même que des données (*big data*) et outils numériques (capacité d'analyse des *big data*) récents ouvrent de nouvelles perspectives dans le cadre de l'agronomie des territoires (Benoît *et al.*, 2012), en particulier d'un point de vue quantitatif.
- 8 L'objectif de ce travail est de concevoir et de mettre en œuvre une méthode pour caractériser la morphologie (définie comme la combinaison de formes et de taille) des parcelles agricoles à l'échelle du territoire national. Il vise à produire une typologie permettant de décrire la diversité des morphologies des parcelles agricoles en combinant les outils de la géomatique et des statistiques factorielles multivariées.
- 9 Cet article décrit dans une première partie les jeux de données utilisés et les différentes étapes de la méthode utilisée. Il présente ensuite les résultats de la typologie des morphologies parcellaires, la répartition des types sur le territoire national et les liens avec leurs occupations du sol et avec les systèmes agricoles dans lesquels ils s'inscrivent. Les principaux moteurs et les applications possibles de ce travail sont discutés dans une troisième partie.

Matériel et méthodes

Jeu de données

- 10 Le Registre Parcellaire Graphique (RPG) est la transcription française du *Land Parcel Identification System* (LPIS), mis en place à l'échelle européenne. Le RPG est déployé sur le territoire français depuis 2006 en tant qu'outil support de la déclaration des demandes d'aides de la Politique Agricole Commune (Kay, de Laroche, 2007). Le RPG est composé d'entités spatiales (parcelles ou groupe de parcelles contiguës appelés îlots cultureux), géoréférencées et comprenant certaines informations (espèces cultivées, surface, etc.). Il est issu des déclarations faites par chaque demandeur d'aides de la politique agricole commune (PAC) sur une plateforme numérique dédiée (Télépac pour les modalités françaises). Par conséquent, les exploitations agricoles ne demandant pas d'aides de la PAC sont absentes du RPG (en particulier pour les productions peu subventionnées comme le maraichage, la viticulture ou l'arboriculture), ce qui n'exclut pas que certaines exploitations produisant ces cultures peu subventionnées instruisent des dossiers.
- 11 Jusqu'en 2014, ce système d'information était décrit au grain de l'îlot cultural, chaque îlot étant rattaché à un ou plusieurs identifiants d'exploitation (Durpoix *et al.*, 2017). Depuis 2015 (année de restructuration complète du format de diffusion de ces informations), le RPG est diffusé au grain parcellaire et concerne quelques 9,3 millions de parcelles en France métropolitaine pour l'année 2016 (année utilisée dans le cadre de ce travail, disponible en ligne sur le site de l'IGN). Chaque parcelle agricole déclarée

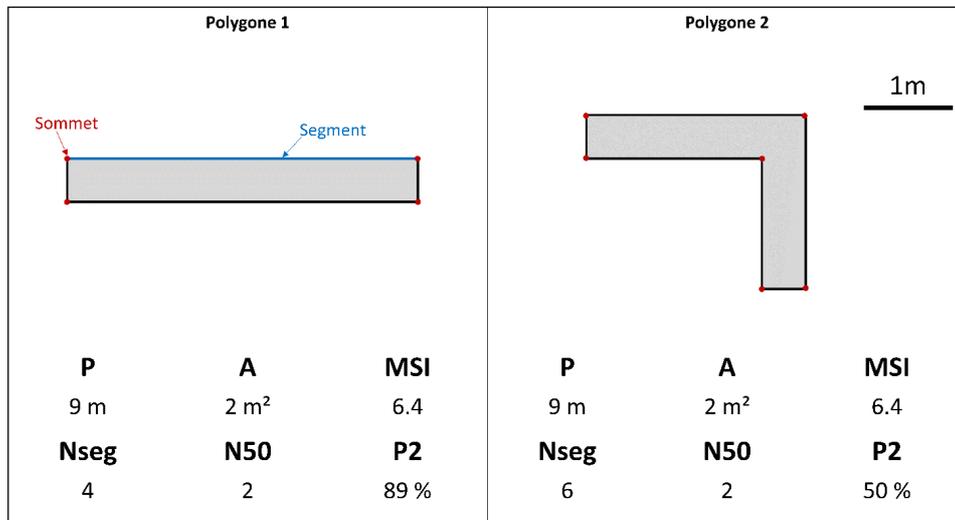
dans le RPG depuis lors est caractérisée par un identifiant national unique, la nature de l'occupation du sol (exemple : blé tendre d'hiver, prairie permanente, etc.) et par un fichier de forme géoréférencé (généralement au format *shapefile*). D'autres descripteurs (culture dérobée, mesure agri-environnementale et climatique) sont présents mais ne sont pas utilisés dans ce travail. Certaines données structurelles des exploitations agricoles (cheptel, main d'œuvre, matériel, etc.) ne sont pas présentes dans le RPG. Enfin, il existe une hétérogénéité de pratiques déclaratives de la part des déclarants concernant la description du contour des îlots : une généralisation du contour des parcelles est ainsi nécessaire pour uniformiser le RPG.

- 12 La méthode que nous proposons se décompose en 6 étapes :
- Définition des indicateurs pour décrire la morphologie des parcelles (étape 1)
 - Simplification de la géométrie des polygones (étape 2)
 - Calculs des indicateurs (étape 3)
 - Analyse de la distribution des indicateurs (étape 4)
 - Constitution d'un sous-échantillon par la méthode des K-means (étape 5)
 - Identification des morphologies parcellaires par classification ascendante hiérarchique (étape 6)

Étape 1 : Définir les indicateurs utiles pour caractériser la morphologie des parcelles agricoles

- 13 L'objectif de cette étape est d'identifier les indicateurs utiles pour qualifier et décrire la forme des parcelles agricoles. Des indicateurs couramment utilisés en écologie du paysage peuvent être remobilisés pour décrire la morphologie des parcelles (par la suite, nous utilisons le terme de polygone pour représenter l'entité spatiale – géomatique – correspondant à la parcelle agricole).
- 14 Nous proposons d'utiliser trois indicateurs parmi les plus classiques : l'aire (A, en hectares), le périmètre (P, en mètres) ainsi que l'indice de forme *Mean Shape Index* – MSI (Gaujour, 2010), indicateur sans unité calculé à partir de l'aire et du périmètre.
- 15 Si ces trois indicateurs sont nécessaires pour décrire les caractéristiques d'un polygone, ils ne sont pas suffisants pour discriminer certaines situations : deux polygones peuvent être géométriquement très différents et pourtant avoir des valeurs de ces indicateurs très proches voire identiques dès lors qu'ils ont la même aire et le même périmètre. La figure 2 l'illustre dans un cas très simple de deux polygones géométriquement différents avec des mêmes valeurs de P, A et MSI.
- 16 Par conséquent, nous proposons trois indicateurs supplémentaires pour caractériser la morphologie des polygones :
- Le nombre total de segments qui composent le polygone (Nseg). Cet indicateur permet de caractériser la complexité du polygone : plus un polygone est composé de segments, plus sa géométrie est complexe.
 - Le nombre minimum de segments nécessaires pour représenter la moitié du périmètre total (N50). Cet indicateur permet de caractériser la simplicité du polygone : plus la valeur de N50 est faible, plus la forme se rapproche du rectangle.
 - La proportion – exprimée en % – du périmètre total représenté par les deux plus grands segments (P2). Cet indicateur permet d'apprécier l'aspect étiré d'un polygone.

Figure 2 : Exemple d'indicateurs calculés pour deux polygones simples



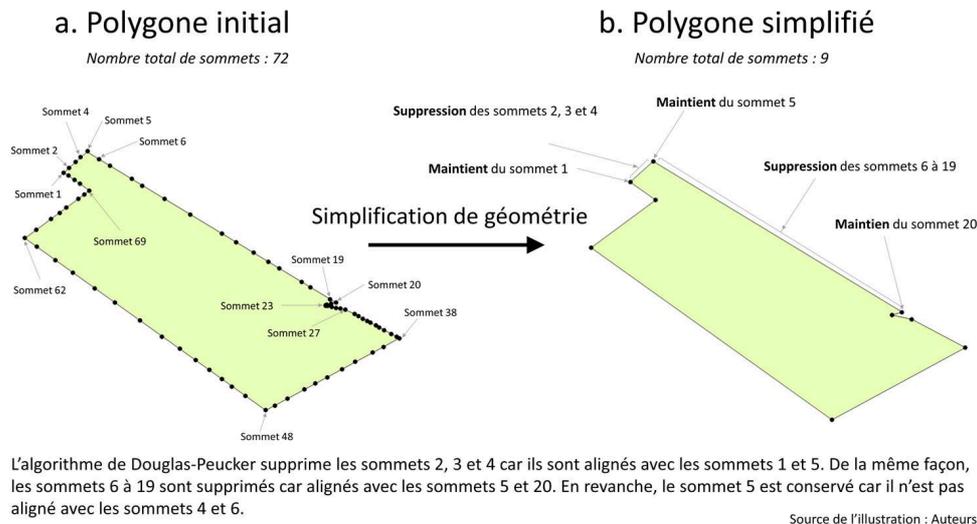
Source : Auteurs

Puech, 2021

Étape 2 : Simplifier la géométrie des polygones

- 17 Le niveau de détail dans la déclaration d'un polygone peut être très hétérogène d'un agriculteur à un autre selon leurs pratiques déclaratives. Pour déclarer un segment de polygone, certains agriculteurs n'utilisent que 2 sommets (les extrémités du segment ; figure 3b), alors que d'autres disposent des sommets intermédiaires, alignés avec les extrémités du segment (figure 3a). Si l'allure générale du polygone est identique entre les deux méthodes de déclaration et si cela n'affecte pas les calculs d'aire et de périmètre, cela peut entraîner une différence significative de la valeur des indicateurs Nseg, N50 et P2 définis précédemment. Ainsi, l'objectif de l'étape 2 est de simplifier la géométrie de chaque polygone via l'algorithme de Douglas-Peucker (Douglas, Peucker, 1973). Cette simplification permet de supprimer les sommets intermédiaires ; chaque sommet n aligné avec le sommet n-1 et le sommet n+1 (figure 3) ; et par conséquent de s'affranchir des biais liés aux différentes pratiques déclaratives décrites précédemment.

Figure 3 : Exemple de simplification de la géométrie par l'algorithme de Douglas Peucker.



Puech, 2021

Étape 3 : Calculer les indicateurs sur la base de polygones simplifiés

- 18 L'objectif de cette étape est de calculer les 6 indicateurs définis dans l'étape 1 pour chaque polygone simplifié issu de l'étape précédente. L'aire et le périmètre sont calculés à partir des fonctions \$area et \$perimeter sous QGIS 3.4, le MSI en résultant par définition. Les indicateurs Nseg, N50 et P2 sont calculés via la fonction geometry().asPolygon() sous l'environnement python de QGIS 3.4.

Étape 4 : Harmoniser les variables du jeu de données par analyse multivariée

- 19 Le choix des variables sélectionnées dans l'étape 1 implique :
- Une corrélation partielle entre différentes variables (par exemple, le périmètre est croissant avec l'aire d'un polygone, mais l'aire d'un polygone n'est pas croissante avec son périmètre).
 - Les variables sont exprimées dans des unités différentes et présentent des ordres de grandeur différents (à titre d'exemple, les ordres de grandeur de l'aire et du périmètre peuvent être très différents).
- 20 L'objectif de cette étape est d'analyser le jeu de données initial (9,3 millions de polygones) via une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour harmoniser les variables décrivant le jeu de données et normaliser la distribution des polygones. Cette méthode d'analyse, classiquement utilisée pour analyser des jeux de données mobilisant plusieurs variables quantitatives, permet de construire des axes factoriels (ou composantes principales) par combinaison linéaire des variables initiales (i) en maximisant la décorrélation entre les axes (en particulier pour intégrer les corrélations existantes entre variables du jeu de données initiales) et (ii) en standardisant les données pour rendre comparables des variables exprimées dans des unités différentes (ACP centrée et réduite dite ACP normée). À l'issue de l'ACP, chaque polygone est caractérisé par des coordonnées sur chaque axe factoriel issu de l'ACP. Les coordonnées

des polygones sur les 5 axes factoriel sont utilisées comme variables quantitatives continues de caractérisation des polygones dans les étapes suivantes. L'ACP est réalisée sous l'environnement R avec le package FactomineR (Lê *et al.*, 2008).

Étape 5 : Identifier des cas-types par la méthode des k-means

- 21 Classiquement, les typologies mobilisant les analyses multivariées (type ACP) sont suivies de classifications ascendantes hiérarchiques dans de nombreux domaines (Baudry *et al.*, 2016 ; Chaouki *et al.*, 2015 ; Hilal *et al.*, 2011 ; Mignolet *et al.*, 2007). Ces méthodes de classification se fondent sur des matrices de distance entre individus et permettent de définir des groupes d'individus à partir de propriétés généralement représentées par des coordonnées sur des axes factoriels. Le nombre de groupes est a priori inconnu et est défini à partir d'un arbre de classification (dendrogramme) issu de la classification ascendante hiérarchique. Or, le jeu de données utilisé dans le cadre de ce travail nécessiterait la construction d'une matrice de 10^{23} valeurs (toutes les combinaisons deux à deux des 9,3 millions de parcelles étudiées) : les outils d'analyse numérique actuels ne sont pas adaptés à l'étude de ce type de jeux de données volumineux.
- 22 Toutefois, les méthodes dites de partitionnement (type k-means) présentent un intérêt pour l'analyse de jeux de données volumineux. Leur principe consiste à séparer les entités d'un jeu de données en un nombre prédéfini de groupes sur la base d'un ou plusieurs critères de distance. Les méthodes de partitionnement sont itératives (position initiale aléatoire des barycentres de groupes puis itérations pour aboutir à une convergence/stabilité des groupes). Si ces méthodes présentent de hautes performances (simplicité, rapidité d'exécution), elles présentent deux limites : (i) elles nécessitent de déterminer a priori le nombre de groupes pour partitionner le jeu de données et (ii) la composition des partitions peut différer selon les positions initiales (tirage aléatoire) et le nombre d'itérations (et selon la stabilité ou non du partitionnement pour un nombre élevé d'itérations).
- 23 L'objectif de l'étape 5 est de constituer, à partir du jeu de données initial (9,3 millions de polygones) un jeu de données intermédiaire (i) traitable par classification ascendante hiérarchique (ii) tout en conservant une diversité de formes. Nous proposons de constituer ce jeu de données intermédiaires sur la base de 1000 groupes de polygones par la méthode des k-means (appartenant à la famille des méthodes de partitionnement). Ce nombre de 1000 est défini arbitrairement mais nous semble un compromis satisfaisant pour réduire significativement l'effectif de l'échantillon initial tout en conservant une diversité de formes, relativement robuste vis-à-vis des limites des méthodes de partitionnement citées précédemment. Le partitionnement est fait à partir des coordonnées de chaque polygone sur les axes factoriels issus de l'étape 4 : les distances sont calculées à partir des coordonnées dans l'espace factoriel multidimensionnel. À l'issue de cette étape, chaque groupe est caractérisé par le barycentre des polygones qui le composent (coordonnées moyennes sur les axes factoriels) qui constitue un cas-type (figure 4). Le partitionnement est réalisé sous l'environnement R avec le package FactomineR (Lê *et al.*, 2008).

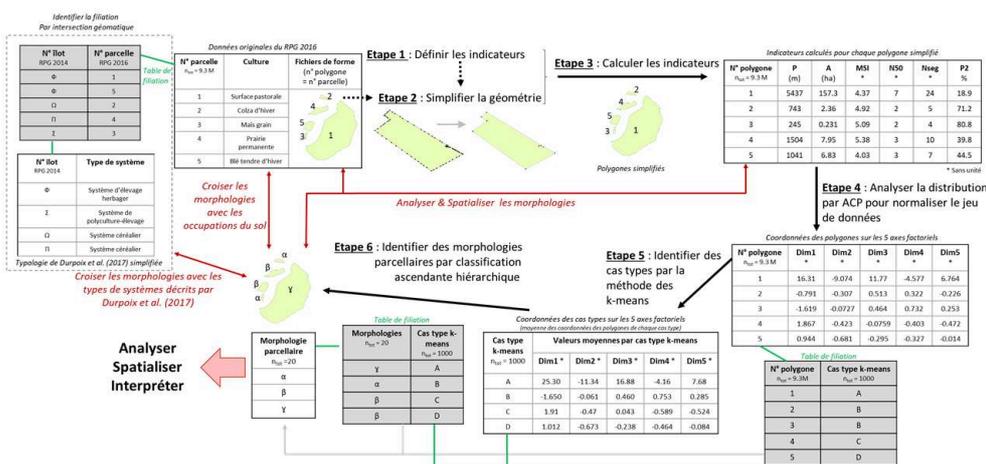
Étape 6 : Construire une typologie de la morphologie parcellaire par une méthode de classification hiérarchique

- 24 L'objectif de cette étape est de construire une typologie des morphologies parcellaires issues du partitionnement par les k-means (étape 5). Cette typologie est réalisée à partir d'une classification ascendante hiérarchique selon la méthode de Ward (Ward, 1963). Cette méthode permet de regrouper les cas-types en clusters (qualifiés ci-après de morphologies parcellaires). La matrice des distances est calculée sur la base des coordonnées des cas-types sur les 5 axes factoriels. Le calcul de la matrice des distances sur ce jeu de données restreint (10^6 combinaisons) est possible avec les outils numériques actuels. Le nombre de clusters à retenir est défini à partir du dendrogramme de classification (sauts d'inertie).
- 25 À l'issue de cette étape, chaque morphologie est caractérisée par un ensemble de parcelles dont la filiation (parcelle - polygone - cas-type k-means - morphologie parcellaire) est assurée tout au long de la méthode (tables de filiation représentées sur la figure 4). Chacune est également caractérisée par quelques parcelles dites "parangon", définies comme les plus représentatives de leur catégorie (statistiquement identifiées comme le plus proche du barycentre de chaque catégorie). L'analyse de chaque morphologie parcellaire (y compris les représentations spatiales) s'appuie sur l'ensemble des parcelles qui y sont rattachées.

Synthèse

- 26 La figure 4 présente de manière synthétique les différentes étapes de la méthode.

Figure 4 : Synthèse des 6 étapes de la méthode proposée pour la réalisation d'une typologie de la morphologie des parcelles agricoles de France métropolitaine



Source : Puech, 2021

Puech, 2021

Croisement avec l'occupation du sol et les grands types de systèmes agricoles

- 27 Pour enrichir l'analyse de la typologie ainsi obtenue, nous proposons de croiser les morphologies parcellaires avec la nature des occupations du sol sur chaque parcelle et les types de systèmes agricoles dans lesquelles elles s'inscrivent.
- 28 La typologie obtenue à l'issue de l'étape 6 est croisée avec l'occupation du sol de chaque parcelle, étant donné que la filiation est assurée entre la typologie et les données sources (figure 4). Toutefois, la nomenclature du RPG (349 modalités) est simplifiée pour caractériser l'occupation du sol en 4 catégories : (i) les prairies permanentes et les surfaces pastorales, (ii) les terres labourables (ensemble des cultures annuelles et prairies temporaires), (iii) les vignes et vergers et (iv) les jachères, bordures de champs, bandes tampon (au sens de la nomenclature RPG) et surfaces non exploitées.
- 29 Par ailleurs, pour rendre compte des liens entre morphologies parcellaires et les systèmes de production agricole dans lesquels elles s'inscrivent, nous proposons de croiser ces résultats avec la typologie spatialement explicite des exploitations agricoles selon leur assolement, décrite par Durpoix *et al.* (2017) à partir du RPG 2014. Nous réalisons une filiation par intersection géomatique entre les parcelles du RPG 2016 et les îlots culturels du RPG 2014 (cf. encadré en haut à gauche de la figure 4). Une lecture très simplifiée de la typologie initiale est faite de manière à mettre en évidence les liens entre la morphologie des parcelles agricoles et les principales productions des exploitations. Ainsi, nous regroupons les 45 types d'exploitation agricole en 4 grands types de systèmes agricoles :
- Des exploitations ayant des activités d'élevage exclusivement herbagères
 - Des exploitations de polyculture-élevage combinant cultures annuelles et prairies
 - Des exploitations de grandes cultures annuelles (éventuellement associées à un élevage hors sol, non renseigné dans le RPG)
 - Des exploitations spécialisées en cultures pérennes (vigne, arboriculture) ou maraichage.
- 30 La distribution des morphologies parcellaires selon les types simplifiés de système se fait par dénombrement simple (distribution réalisée au regard du nombre de parcelles ou de l'aire totale).
- 31 Enfin, compte tenu que les données RPG sont spatialement explicites, nous croisons ces données avec les données de la BD ALTI 75m (IGN), permettant de renseigner l'altitude de chacun des polygones (module Point Sampling Tool sous QGIS 3.4) et ainsi d'en interpréter la localisation.

Résultats

- 32 La méthode a été appliquée sur les 9,3 millions de parcelles présentes dans le Registre Parcellaire Graphique de la campagne culturale 2016 en France métropolitaine.

Diversité statistique de morphologie des polygones

- 33 Le tableau 1 présente la distribution statistique des indicateurs retenus dans l'étape 1 (Q10 et 90 les 10e et 90e percentiles, Q25 et Q75 les premiers et troisièmes quartiles et

Q50 la médiane), calculés sur les polygones simplifiés lors de l'étape 3. Le rapport interquartile (Q90/Q10) est variable selon les indicateurs, d'un facteur 2 (N50, P2) à un facteur proche de 50 (Aire).

Tableau 1 : Distribution statistique des 6 indicateurs retenus pour la typologie des 9,3 millions de polygones après simplification via l'algorithme de Douglas Peucker

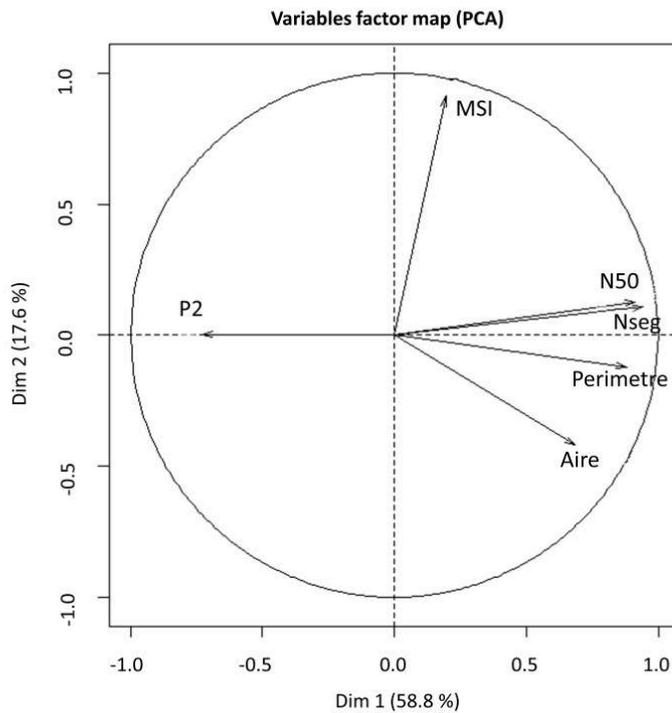
Variable	Valeur				
	Q10	Q25	Q50	Q75	Q90
Aire (ha)	0,149	0,468	1,360	3,417	7,141
Périmètre (m)	234	371	605	967	1455
MSI	4,10	4,34	4,88	5,98	8,27
N50	2	2	2	3	4
P2 (%)	35,8	46,6	56,5	68,0	79,9
Nseg	4	4	5	7	10

1er décile (Q10), 1er quartile (Q25), médiane (Q50), 3ème quartile (Q75) et dernier décile (Q90)

Source : RPG 2016 ; Traitements : Puech, 2021

- 34 Les analyses statistiques sur les variables (tableau 1) montrent qu'il existe une corrélation entre (i) les variables N50 et NSeg fortement corrélées entre elles (92 %), ainsi qu'avec le périmètre (respectivement 68 % et 76 %) et P2 (respectivement 68 % et 67 %) et (ii) et entre le périmètre et l'aire des polygones (75 %). Les autres variables sont relativement peu corrélées entre elles ; il ressort en particulier une faible corrélation entre le MSI et les autres variables, bien que le MSI soit calculé à partir de l'aire et du périmètre.
- 35 Ces corrélations s'expriment sur le premier plan factoriel (figure 5) de l'ACP (étape 4). En effet, le premier axe factoriel (58,8 % de la variance totale) est structuré principalement par les variables de contour des polygones et dans une moindre mesure par l'aire des polygones. P2 est négativement corrélé aux autres variables de contour, par ailleurs relativement corrélées entre elles (N50, NSeg et Périmètre). L'axe 2 (17,6 % de la variance totale) est structuré par les indicateurs de surface des polygones : MSI et dans une moindre mesure l'aire (figure 5).
- 36 L'ACP présente des résultats satisfaisants dans la mesure où le premier plan factoriel représente plus de 76 % de la variance totale.

Figure 5 : Corrélations entre les 6 variables de l'ACP et le premier plan factoriel



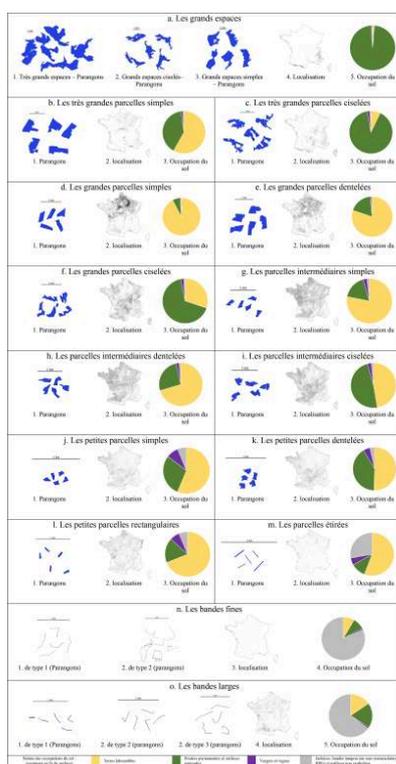
Puech, 2021

- 37 À l'issue de l'ACP, chacun des 9,3 millions de polygones est caractérisé par des coordonnées sur les 6 axes factoriels. Compte tenu de l'inertie portée par le 6e axe factoriel (< 1 %), nous considérons que les 5 premiers axes factoriels sont suffisants pour le partitionnement du jeu de données initial en 1000 cas-type K-means (étape 5).
- 38 La classification hiérarchique mise en place sur le sous-échantillon (étape 6) met en évidence, à partir du dendrogramme et des graphiques de saut d'inertie, 20 morphologies parcellaires. À l'issue de l'étape 6, chaque morphologie est composée par un ensemble de parcelles (cf. tables de filiations en figure 4) permettant de les caractériser.

Caractérisation des morphologies parcellaires

- 39 Chaque morphologie est décrite par un qualificatif simple (figure 6, par exemple les "Grands espaces" - figure 6a). Ces morphologies sont interprétées et caractérisées à partir de la distribution statistique des indicateurs (par exemple l'aire) et de la complexité de leurs contours.

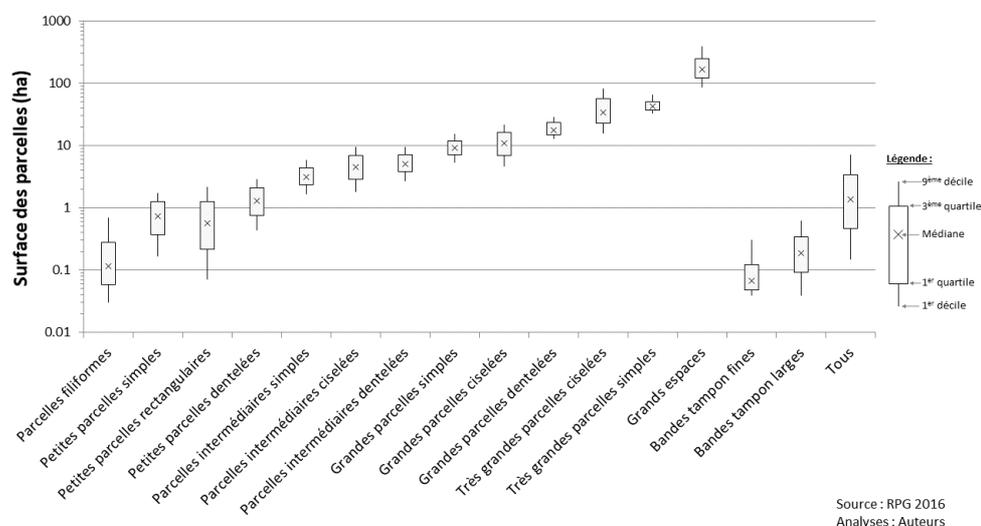
Figure 6 : Parangons, localisation et nature de l'occupation du sol des morphologies parcellaires



Puech, 2021

- 40 Une première caractérisation des morphologies parcellaires se fait à partir de leur aire (figure 7). On identifie trois morphologies dont l'aire est supérieure à 100 ha (figure 6a) : les très grands espaces, les grands espaces ciselés et les grands espaces simples (pour faciliter la lecture par la suite, ces trois morphologies seront analysés ensemble sous le terme "Grands espaces"). Apparaissent ensuite avec une aire décroissante les très grandes parcelles (plusieurs dizaines d'hectares - figure 6b, c), les grandes parcelles (8 à 20 ha - figure 6d, e, f), les parcelles intermédiaires de quelques hectares (2 à 8 ha - figure 6g, h, i) puis les petites parcelles généralement de l'ordre de l'hectare (0,5 à 2 ha - figure 6j, k, l). Les grands espaces et les très grandes parcelles ne représentent qu'une très faible part des parcelles françaises (moins de 0,4 %), mais avec leur aire très supérieure à la moyenne, ce type de parcelles couvre près de 8 % de la surface agricole française. Les parcelles grandes, intermédiaires et petites représentent respectivement 7,5, 28 et 60 % des parcelles françaises et elles couvrent respectivement 31, 41 et 19 % des surfaces agricoles françaises déclarées au RPG en 2016 (tableau 2). Toutefois, si l'aire des polygones permet de discréditer certaines morphologies, la figure 7 met en avant une hétérogénéité dans l'aire au sein d'une même morphologie. Par exemple, on observe dans le cas des petites parcelles rectangulaires un facteur proche de 6 entre le 1er ($A_{Q1} = 0,22$ ha) et le 3e quartile ($A_{Q3} = 1,26$ ha), alors que cet écart est inférieur à 50 % pour les très grandes parcelles simples (respectivement $A_{Q1} = 36,6$ ha, $A_{Q3} = 50,8$ ha).

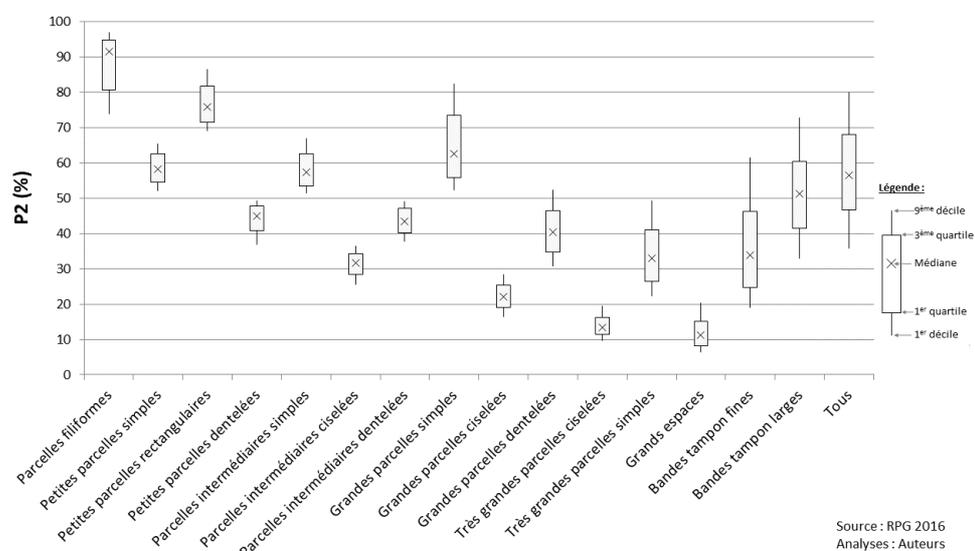
Figure 7 : Distribution des aires des parcelles selon les morphologies parcellaires



Puech, Mignolet, 2021

- 41 La deuxième interprétation des groupes de parcelles se fait à partir des indicateurs corrélés à la dimension 1 de l'ACP, i.e. correspondant à la complexité de leur géométrie depuis des formes très simples jusqu'à des formes complexes. Certains types correspondent à des formes particulièrement simples, une des plus simples étant le rectangle : les parcelles filiformes (figure 6m) et rectangulaires en sont des illustrations (avec respectivement des valeurs de P2 supérieures à 80 % et 70 % - figure 8).
- 42 Nous identifions ensuite les formes simples (figure 6d, g, j) dont la géométrie se rapproche du rectangle ou du triangle. Elles sont caractérisées par des valeurs élevées de P2 (50 % < P2 < 70 % - figure 8). Globalement, ces formes simplifiées sont majoritaires tant en nombre (65 %) qu'en superficie (44 %) sur le territoire métropolitain (tableau 2).
- 43 Avec un degré croissant dans la complexité de la forme des polygones, nous qualifions de "dentelées" (figure 6e, h, k) des formes intermédiaires caractérisées par des indices 35 % < P2 < 50 % puis de "ciselées" les formes les plus complexes, caractérisées par un indice P2 généralement inférieur à 35 % (figure 6c, f, i). Les formes ciselées se distinguent par une forme complexe sensiblement différente des formes rectilignes (valeurs faibles de P2 par rapport aux morphologies plus simples à surface équivalente - figure 8) et composées de nombreux segments avec des valeurs élevées de N50, quasi systématiquement supérieures à 5 (voire 10 pour les très grandes parcelles ciselées ou les grands espaces), et de MSI (de l'ordre de 5 à 10 - figure 9). Les formes dentelées et ciselées représentent respectivement 22 % et 9 % des parcelles françaises, soit 31 % et 22 % des surfaces agricoles (tableau 2).

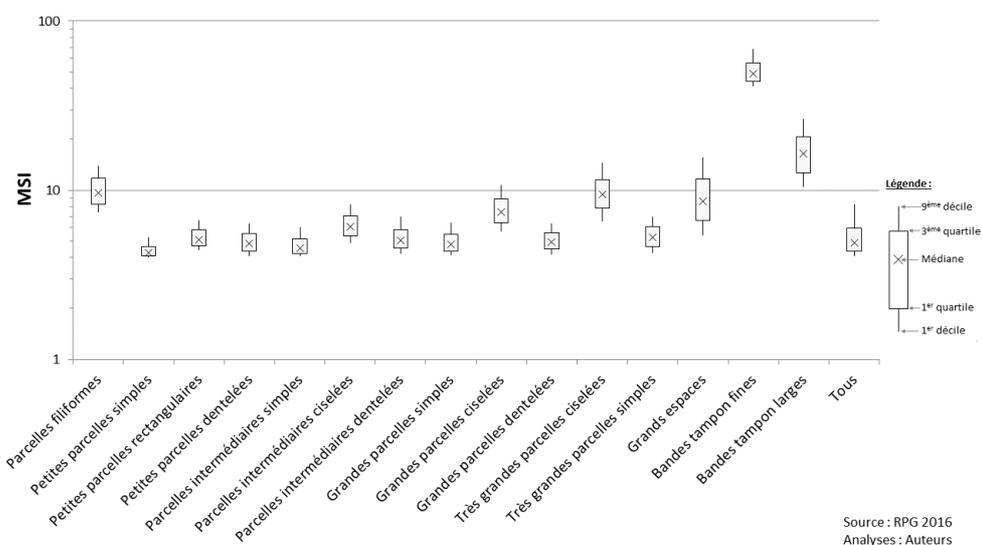
Figure 8 : Distribution de l'indicateur P2 selon les morphologies parcellaires



Puech, Mignolet, 2021

- 44 La typologie nous permet également d'identifier des formes spécifiques que nous qualifions de "bandes". Ces morphologies représentent des parcelles de faible surface (< 0,5 ha) et des indicateurs de contour (périmètre, P2) très variables (figure 8). Si l'on observe une diversité de longueur des "bandes tampon", toutes sont caractérisées par des valeurs de MSI particulièrement élevées ($MSI_{Q1} > 10$) et très largement supérieures aux moyennes des autres groupes (figure 9). Nous caractérisons les "bandes fines" (composées de 2 morphologies parcellaires) et les bandes larges (composées de 3 morphologies parcellaires). Ces deux types de bandes se discriminent particulièrement par leur largeur : 89 % des bandes fines ont une largeur inférieure à 2 m alors que 76 % des bandes larges ont une largeur comprise entre 2 et 5 m. L'ensemble des parcelles en forme de bandes couvrent près de 120 000 ha (environ 0,4 % de la surface agricole totale), on en dénombre 400 000, soit 4 % des parcelles françaises (tableau 2).

Figure 9 : Distribution de l'indicateur MSI selon les morphologies parcellaires



Puech, Mignolet, 2021

Tableau 2 : Distribution des morphologies parcellaires (nombre de parcelles et surfaces agricoles associées)

Morphologie parcellaire	Nombre de parcelles (milliers)	Superficie totale (x 1000 ha)	% parcelles	% surface agricole
Parcelles filiformes	407,2	116,3	4,4	0,42
Petites parcelles simples	2 290,5	1 942,8	24,6	6,98
Petites parcelles rectangulaires	1 705,9	1 504,5	18,3	5,41
Petites parcelles dentelées	1 187,8	1 780,0	12,7	6,40
Parcelles intermédiaires simples	1 307,5	4 543,7	14,0	16,33
Parcelles intermédiaires ciselées	589,1	3 014,4	6,3	10,83
Parcelles intermédiaires dentelées	699,2	3 949,8	7,5	14,19
Grandes parcelles simples	352,1	3 468,6	3,8	12,46
Grandes parcelles ciselées	195,4	2 411,2	2,1	8,66

Grandes parcelles dentelées	144,7	2 809,3	1,6	10,10
Très grandes parcelles ciselées	15,9	669,1	0,17	2,40
Très grandes parcelles simples	16,0	745,2	0,17	2,68
Grands espaces	3,5	750,5	0,04	2,70
Bandes fines	9,2	1,7	0,10	0,01
Bandes larges	392,2	120,5	4,2	0,43
Tous	9 316,1	27 827,5	100	100

Source : RPG 2016, Analyses : Puech et Mignolet, 2021

Une relation entre forme parcellaire et occupation du sol

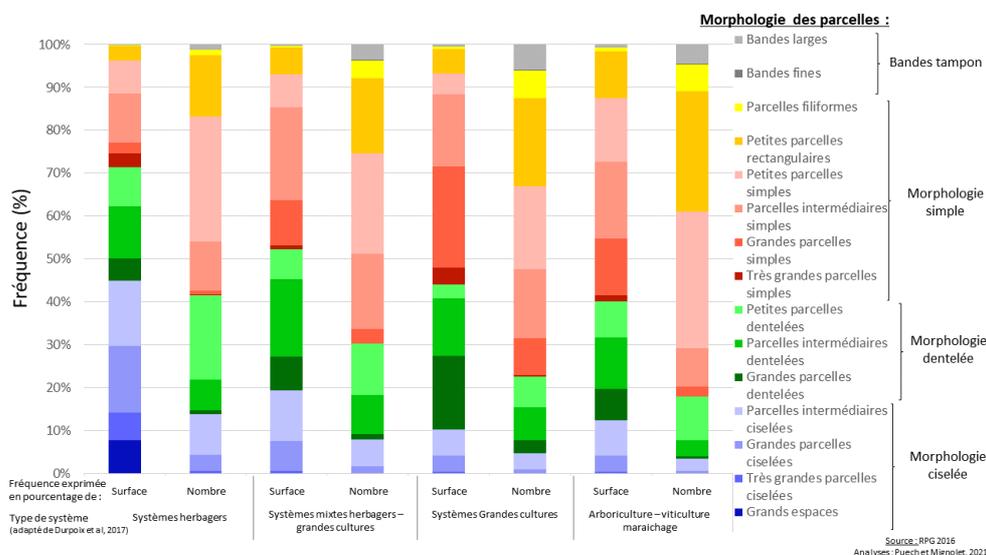
- 45 L'analyse de la typologie des formes parcellaires met en avant une relation entre la morphologie parcellaire (surface et forme) et l'occupation du sol déclarée dans le RPG. En effet, la quasi intégralité des grands espaces sont déclarés en surface toujours en herbe (STH – prairies permanentes ou estives - figure 6). Au sein des parcelles ciselées, on observe un gradient de STH inversement proportionnel à la surface des parcelles : la grande majorité des très grandes parcelles (89 %) sont des surfaces toujours en herbe, ce chiffre décroît à 68 % pour les grandes parcelles ciselées et 53 % pour les parcelles intermédiaires ciselées (figure 6). Parallèlement, on observe une fréquence croissante des terres labourables (i.e. déclarées en culture annuelle ou en prairie temporaire) avec la simplification du contour et l'augmentation de la surface des parcelles : les parcelles simples sont occupées plus fréquemment par des terres labourables (91 % pour les grandes parcelles, 73 % pour les parcelles intermédiaires) que les parcelles dentelées (79 % et 65 % respectivement pour les grandes parcelles et les parcelles intermédiaires). Ces observations sont moins tranchées dans le cadre des petites parcelles, bien que l'on observe aussi une diminution de la fréquence des STH avec une simplification croissante des contours parcellaires au profit des terres labourables (TL) : 47 % des petites parcelles dentelées sont en STH (42 % en TL), ce taux diminuant pour les petites parcelles simples (34 % STH, 45 % TL) et les rectangulaires (22 % STH, 48 % TL). Enfin, plus de 90 % des bandes (fines ou larges) sont déclarées en surfaces gelées, STH, bordures de parcelles ou bandes tampon du point de vue de la nomenclature RPG.
- 46 De manière complémentaire, l'entrée par les occupations du sol présente des résultats similaires : 75 % des surfaces toujours en herbe sont présentes sous forme de grands espaces, de parcelles ciselées ou dentelées. Inversement, la fréquence des terres labourables croît avec la simplification du contour des parcelles : 34 % des parcelles dentelées sont des terres labourables, ce chiffre monte à 53 % pour les parcelles rectangulaires et jusqu'à 87 % en moyenne pour les parcelles simples. Dans le cas

particulier des cultures pérennes (notamment des vignes), la majorité des surfaces (53 %) sont des petites parcelles simples ou rectangulaires.

Une régionalisation des formes parcellaires selon les systèmes agricoles

- 47 Le croisement des morphologies parcellaires avec une adaptation simplifiée de la typologie de Durpoix *et al.* (2017) montre des relations entre morphologie des parcelles et systèmes agricoles dans lesquels elles s'inscrivent. En effet, cette typologie simplifiée des assolements à l'échelle des exploitations agricoles montre qu'il existe un gradient de morphologie parcellaire selon les grands types de systèmes. Ce croisement montre par exemple que les parcelles à géométrie ciselée sont particulièrement représentées dans les systèmes herbagers (figure 10), dont on peut faire l'hypothèse que ce sont des exploitations d'élevage de ruminants malgré l'absence de ce type d'information dans le RPG. Plus de 70 % des parcelles présentes dans ce type de système sont à géométrie ciselée ou dentelée, les parcelles simples étant représentées principalement par des petites parcelles. Les grands espaces et très grandes parcelles ciselées ne sont quasiment présents que dans ce type de système. Inversement, les exploitations de grandes cultures, dont on peut faire l'hypothèse qu'elles ne présentent pas d'activité d'élevage (ou une activité d'élevage hors sol) exploitent plus de 50 % de leurs surfaces sur des parcelles à morphologie simple, la plupart étant de grande taille (de type grande ou très grande parcelle simple, grande parcelle dentelée) et moins de 10 % de leurs surfaces à géométrie ciselée (figure 10). Les petites parcelles simples, rectangulaires ou filiformes y représentent plus de la moitié des parcelles mais ne couvrent *in fine* que 10 % des surfaces. En gradient, les exploitations combinant cultures annuelles et prairies (dont on peut, de la même façon que les systèmes herbagers, faire l'hypothèse que ce sont des systèmes de polyculture-élevage) présentent des situations intermédiaires entre systèmes herbagers et systèmes "grandes cultures". Environ la moitié des surfaces sont occupées par des parcelles ciselées ou dentelées, l'autre moitié étant occupée par des parcelles simples, généralement de grande taille. Enfin, les exploitations qualifiées de spécialisées en cultures pérennes (arboriculture-viticulture) ou en maraichage présentent également une majorité de parcelles à morphologie simple (plus de 60 %), parmi lesquelles les petites parcelles (filiformes, simples ou rectangulaires) représentent plus de 70 % du nombre de parcelles.

Figure 10 : Distribution de la morphologie des parcelles selon la surface couverte et le nombre de parcelles, par type de systèmes agricoles

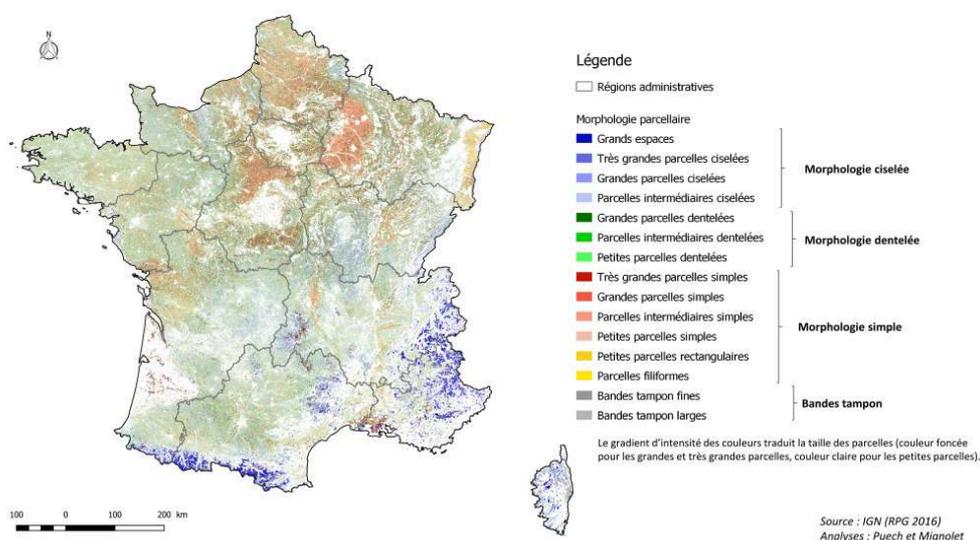


Puech, Mignolet, 2021

- 48 Du point de vue de la répartition sur le territoire métropolitain, la figure 11 représente la localisation à l'échelle nationale des différentes morphologies parcelaires. Les grands espaces ou les parcelles à contours ciselés se retrouvent principalement dans les régions d'élevage avec un gradient croissant de la surface des parcelles avec l'altitude.
- 49 Les grands espaces sont caractéristiques des estives dans les massifs alpins et pyrénéens. En effet, 75 % des grands espaces se trouvent dans les Alpes (Hautes-Alpes, Alpes de Haute Provence, Savoie, Isère, Alpes-Maritimes, Savoie et Haute Savoie) ou dans les Pyrénées (Ariège, Hautes-Pyrénées, Pyrénées orientales et atlantiques, Haute-Garonne). Le croisement avec les données IGN d'altitude (BD ALTI, 75m) montre que 83 % des grands espaces se trouvent à plus de 1500 m d'altitude. On observe d'ailleurs un fort contraste dans les régions de haute montagne avec les vallées caractérisées par des petites parcelles, généralement dentelées. Les 25 % de grands espaces restants se retrouvent principalement sur les Causses au Sud-Ouest du Massif Central ou en Corse.
- 50 Les très grandes parcelles se retrouvent plutôt dans les régions de moyenne montagne (altitudes moyennes dans les Alpes ou les Pyrénées, Causses du Massif Central, Morvan et Jura). De la même façon, les grandes parcelles se retrouvent dans ces régions de moyenne montagne et s'étendent aux massifs anciens (Ardennes) et aux contreforts du Massif Central jusqu'aux plaines laitières de Basse-Normandie. Les formes de taille intermédiaire, si elles sont courantes des régions de montagne, sont aussi présentes dans les zones d'élevage de plaine (Basse-Normandie, Bretagne et Pays de Loire), jusqu'aux régions de grandes cultures du sud de la France. À l'exception des grands espaces, les formes ciselées se retrouvent principalement dans les régions de moyenne montagne (Jura, Morvan, ouest et sud du Massif Central), et sont particulièrement absentes des régions de grandes cultures du nord de la France, en particulier du bassin parisien : les formes simples ou rectangulaires sont caractéristiques des régions de grandes cultures céréalières. Les grandes parcelles rectangulaires sont présentes quasiment exclusivement au sein du bassin parisien, en particulier en Beauce et en Champagne Crayeuse où ces formes dominent les paysages agricoles avec plus de 67 %

des parcelles de type "grandes parcelles simples" (figure 11). Si les parcelles simples et rectangulaires se retrouvent réparties sur l'ensemble du territoire, elles sont d'une plus forte densité dans la plaine d'Alsace, le nord de la France et la région bordelaise ainsi que dans certaines plaines spécialisées en grandes cultures (plaine de Caen, Limagne). Par ailleurs, avec une complexité de contours intermédiaire, les formes dentelées se retrouvent sur l'ensemble du territoire avec un gradient de surface Nord-Sud : les parcelles dentelées ont une plus grande surface au nord de la France (le bassin parisien et ses contreforts) que dans l'ouest (Bretagne, Normandie) et le sud de la France (bassin aquitain). Enfin, les bandes (larges ou fines) sont répandues dans les zones de plaine et particulièrement absentes des massifs de moyenne et haute montagne.

Figure 11 : Localisation des morphologies parcellaires en France métropolitaine



Cette carte est disponible en haute résolution (900 dpi) à l'adresse suivante : <https://hal.inrae.fr/hal-03822587/document>

Puech, Mignolet, 2021

Discussion

Remembrement agricole et réglementation : deux facteurs d'interprétation de la morphologie des parcelles

- 51 Nous montrons dans cet article que les morphologies parcellaires ne sont pas distribuées de manière homogène sur le territoire français : des morphologies sont spécifiques de certaines régions. Si certaines morphologies parcellaires dépendent de leur contexte géomorphologique (types de sol, pente, etc.) et d'une tradition historique, en particulier une divergence bocage-*openfield* initiée au moyen âge (Lebeau, 2002), elles témoignent également de la volonté récente du monde agricole et des politiques publiques d'adapter les parcelles à la mécanisation. Dès la fin de la seconde guerre mondiale, et en particulier dans les années 1950-1960, les réformes successives de l'agriculture (notamment par les lois de modernisation françaises de 1960 et 1962) ont eu pour objectif de créer de la compétitivité dans le secteur agricole français. Concernant la structure des exploitations, le remembrement a été un outil de

transformation des paysages pour adapter la structure des parcelles agricoles et des parcellaires d'exploitations agricoles au développement rapide du machinisme agricole d'après-guerre (Demetriou, 2014). Les régions Île de France, Picardie et Haute Normandie ont été les premières régions remembrées, principalement dans les années 1950, voire fin des années 1940 (Île de France). Suite aux lois de modernisation, les décennies 1960 et 1970 ont été marquées par une extension des opérations de remembrement à une large moitié nord de la France (Centre, Alsace, Champagne-Ardenne, Lorraine, Franche Comté et Bretagne). L'émergence croissante depuis les années 1980 des problématiques environnementales, les tensions fortes que certaines opérations de remembrement peuvent créer et le coût de ces opérations pour les collectivités font du remembrement un outil de moins en moins sollicité au bénéfice d'opérations telles que l'échange parcellaire fondées sur le volontariat (Pauchard *et al.*, 2016). La fréquence de ces opérations de remembrement s'est par conséquent ralentie jusqu'à n'être que ponctuelles à partir des années 2000. On estime toutefois qu'en région Île de France, Picardie, Grand-Est, chaque hectare agricole a en moyenne été remembré plus d'une fois depuis 1950. Inversement, le sud de la France, y compris les zones de plaine, a été globalement peu remembré : en PACA, Languedoc Roussillon, Midi Pyrénées, Aquitaine et Rhône Alpes, ce sont moins de 20 % des surfaces agricoles qui ont été remembrées depuis les années 1950. Si les remembrements sont parfois source de tension dans les territoires (voire d'échec de certaines opérations), le présent travail confirme que ces actions ont globalement été efficaces (Philippe, Polombo, 2009). On observe que ce sont effectivement dans les régions les plus remembrées que l'on retrouve les parcelles les plus grandes et les plus rectilignes, propices à la mécanisation des activités agricoles sur de grandes surfaces (Île de France, Grand-Est, etc.).

- 52 Toutefois, les parcelles des exploitations spécialisées (viticulture, maraichage, etc.) conservent une forme simple et restent généralement de très petite taille, contrairement aux exploitations de grandes cultures (parcelles de grande taille), y compris lorsqu'elles sont localisées dans des régions fortement remembrées ces dernières décennies. Si les politiques publiques ont eu un rôle majeur dans la transformation de la morphologie des parcelles agricoles, la valeur vénale des terres agricoles semble aussi être un facteur déterminant dans l'organisation et la morphologie des parcelles. C'est particulièrement le cas des systèmes viticoles, pour lesquels le coût du foncier est très élevé. Par exemple, au nord de la France, ce sont dans les régions d'appellation d'origine du vignoble alsacien (prix moyen entre 110 et 150 k€/ha) ou du vignoble champenois (prix moyen entre 0,9 et 1,6 M€/ha ; SAFER, 2020) que l'on observe une part importante de parcelles filiformes.
- 53 Par ailleurs, l'évolution de la réglementation induit l'émergence de certaines formes parcellaires. En effet, la loi Grenelle 2 (2010) instaure la mise en place de bandes enherbées le long des cours d'eau pour prévenir les pollutions d'origine agricole. Les bandes enherbées doivent être implantées le long des cours d'eau sur une largeur de 5 m (et élargies à 10 m dans le cadre de certains bassins stratégiques). Par ailleurs, l'évolution de la Politique Agricole Commune en 2015 a instauré, dans la conditionnalité des aides, la mise en place de surfaces d'intérêts écologiques (SIE) : la déclaration de bords de champs, dans la mesure où leur largeur est supérieure à 1 m, permet d'augmenter les SIE des exploitations (les SIE doivent représenter au moins 5 % des terres arables des exploitations). Ces limites réglementaires se retrouvent dans la

caractérisation des bandes tampon : 80 % des bandes tampon fines ont une largeur comprise entre 1 et 2 m, et les bandes larges font en moyenne 6 m de large (médiane à 5 m).

- 54 Par conséquent, si ce travail de typologie ne permet pas d'évaluer formellement l'impact des politiques publiques sur la morphologie des parcelles françaises, il permet toutefois d'en dresser un bilan national, support d'analyse des dynamiques sur le temps long des paysages agricoles français. Malheureusement, l'indisponibilité de ces informations ne permet pas d'évaluer les dynamiques temporelles passées. En effet, si le RPG n'est diffusé qu'au grain îlot entre 2006 et 2015, aucune source d'information n'est disponible librement au grain parcelle et à l'échelle nationale avant 2016. La combinaison des outils de photo-interprétation et de télédétection appliqués à des photographies aériennes passées (Hugerot *et al.*, 2017) devrait permettre d'analyser les dynamiques spatiales de simplification des paysages sur des temps longs. Or, à notre connaissance, de tels travaux n'ont jamais été réalisés à l'échelle nationale, vraisemblablement par absence de données homogènes, en particulier pour caractériser les formes de parcelles dès la seconde moitié du XXe siècle.

Une typologie à remobiliser pour évaluer les services (ou dysservices) rendus par l'agriculture

- 55 La typologie des parcelles peut être remobilisée pour des travaux d'évaluation des services rendus par l'agriculture. En effet, depuis la fin des années 1980, de nombreux travaux ont été développés pour évaluer les systèmes agricoles à partir notamment du concept de durabilité (Latruffe *et al.*, 2016 ; WCED, 1987). Certains indicateurs sont désormais facilement accessibles à un grain fin sur de larges échelles spatiales, grâce notamment à la mise à disposition de *big data issues* du Land Parcel Identification System (Uthes *et al.*, 2020). Dans cet article, nous proposons une méthode pour produire des connaissances sur la morphologie des parcelles agricoles françaises. Ces connaissances peuvent compléter d'autres travaux dans le cadre de l'agronomie des territoires (Benoît *et al.*, 2012) : Puech *et al.* (2020) ont par exemple produit une typologie de l'organisation spatiale des exploitations agricoles. L'appariement de ce type de travaux (i) avec des systèmes d'information sur la structure des systèmes agricoles (cheptel, main d'œuvre, matériel des exploitations et en particulier le matériel tractant/tracté, circuits de commercialisation) disponibles notamment dans les recensements agricoles ou (ii) avec des approches d'agronomie du fonctionnement des exploitations agricoles (Marie *et al.*, 2009 ; Moraine *et al.*, 2016) permettrait de donner une vision globale de la structure et du fonctionnement spatial des exploitations agricoles. Les connaissances produites pourraient être réutilisées dans le cadre de travaux de modélisation de la durabilité des exploitations agricoles (Binder *et al.*, 2010 ; Schader *et al.*, 2014), voire d'évaluation des politiques publiques régionales ou nationales, en particulier du point de vue de l'aménagement du territoire ou du développement agricole.
- 56 Par ailleurs, l'analyse croisée des résultats présentés dans cet article avec des pratiques agricoles (nature des couverts végétaux, interactions avec des activités d'élevage, agriculture biologique) ou avec des structures paysagères (haies, bosquets, cours d'eau) pourrait contribuer à analyser les impacts des systèmes agricoles sur les services écosystémiques produits par l'agriculture (Therond *et al.*, 2017), en particulier du point

de vue de la biodiversité qui est étroitement liée aux activités agricoles et à leurs agencements dans l'espace (Sirami *et al.*, 2019 ; Alignier *et al.*, 2020). Le Roux *et al.* (2008) montrent que la biodiversité résulte à la fois des pratiques agricoles (nature des couverts et conduites culturales) mais aussi de la structure paysagère. Ces travaux sont complétés entre autres par Dufлот (2013) ou Martel *et al.* (2019) qui montrent respectivement (i) que les interfaces prairies-cultures ont un effet bénéfique sur la richesse spécifique, en particulier sur les espèces en mesure de migrer, en réponse à des perturbations liées en particulier aux pratiques agricoles (travail du sol, traitements phytosanitaires) et (ii) que l'abondance des populations d'insectes (en l'occurrence de carabidés) dépend des occupations du sol et de leurs configurations dans l'espace, en particulier au regard des interfaces. Les connaissances scientifiques présentées dans cet article constituent une avancée majeure dans la caractérisation de la morphologie et de l'organisation spatiale des parcelles agricoles.

- 57 Comme toute typologie, ce travail simplifie une très large diversité de morphologies parcellaires, mais son intérêt réside en particulier dans l'articulation de plusieurs niveaux d'organisation (la parcelle, le système agricole, le territoire régional et national) et dans le caractère spatialement explicite, qui le rend traitable avec d'autres systèmes d'information géographiques (en particulier la BD TOPO de l'IGN décrivant au niveau national des éléments naturels ou semi-naturels comme le réseau hydrographique, les formations arborées). Par conséquent, il ouvre des perspectives d'évaluation et de modélisation des services (préservation de la biodiversité par exemple) rendus par l'agriculture à des échelles régionales voire nationales, tout en intégrant des processus à l'œuvre à l'échelle parcellaire.

Conclusion

- 58 Dans cet article, nous présentons une méthode originale pour caractériser la morphologie des parcelles agricoles. La méthode combine les outils de la géomatique et de l'analyse multivariée pour décrire, via une classification appuyée sur un petit nombre de paramètres géométriques, la morphologie des parcelles agricoles. Appliquée à l'ensemble des parcelles déclarées au Registre Parcellaire Graphique 2016 en France métropolitaine, nous mettons en évidence vingt types de formes combinant taille des parcelles (de moins d'un dixième à plusieurs dizaines d'hectares) et complexité de leurs contours (depuis des formes rectangulaires simples à des formes complexes très découpées). Le croisement des morphologies de parcelles avec leurs occupations du sol met en avant certaines combinaisons préférentielles : les parcelles à contour complexe sont préférentiellement dédiées aux occupations en herbe alors que les parcelles à contour simple sont plus adaptées à des surfaces assolées. Ces combinaisons mettent en évidence l'adaptation des parcelles agricoles aux activités, en particulier leur adaptation aux contraintes logistiques (machinisme agricole). Par ailleurs, la répartition des morphologies parcellaires est hétérogène sur le territoire : si certaines formes sont présentes de manière relativement ubiquiste, d'autres sont très spécifiques de certains territoires spécialisés (zones d'estives, plaines céréalières du nord de la France, etc.). Enfin, cette répartition dans l'espace des formes parcellaires met en avant l'impact des politiques publiques passées et en particulier des politiques d'aménagement foncier dans la simplification des formes parcellaires. Au final, ce travail de typologie contribue à l'agronomie des territoires : il complète certains

travaux de caractérisation de l'organisation spatiale et fonctionnelle des exploitations agricoles. Son appariement avec la structure des exploitations agricoles ou son croisement avec des éléments paysagers ouvrent des perspectives à des travaux de modélisation à des échelles macro-régionales de l'impact des systèmes agricoles sur les services rendus par l'agriculture et d'évaluation de l'impact des politiques d'aménagement de l'espace rural ou du développement agricole sur les paysages.

BIBLIOGRAPHIE

- Alignier A., Solé-Senan X.O., Robleño I., Baraibar B., Fahrig L., Giralt D. *et al.*, 2020, "Configurational crop heterogeneity increases within-field plant diversity", *Journal of Applied Ecology*, vol. 57, No.4, 654-663.
- Baudry J., Touvier M., Allès B., Péneau S., Méjean C., Galan P. *et al.*, 2016, "Typology of eaters based on conventional and organic food consumption: Results from the NutriNet-Santé cohort study", *British Journal of Nutrition*, vol. 116, No.4, 700-709.
- Bendjoudi H., Hubert P., 2002, "Le coefficient de compacité de Gravelius : analyse critique d'un indice de forme des bassins versants", *Hydrological Sciences Journal*, vol. 47, No.6, 921-930.
- Benoît M., Rizzo D., Marraccini E., Moonen A.C., Galli M., Lardon S. *et al.*, 2012, "Landscape agronomy: A new field for addressing agricultural landscape dynamics", *Landscape Ecology*, vol. 27, No.10, 1385-1394.
- Binder C.R., Feola G., Steinberger J.K., 2010, "Considering the normative, systemic and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessments in agriculture", *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 30, No.2, 71-81.
- Chaouki I., Mouhir L., Fekhaoui M., Abidi A.E., Bellaouchou A., Morhit M.E., 2015, *Application de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'évaluation de la qualité des eaux usées industrielles de Salam Gaz - Skhirat* (Application of the principal component analysis (PCA) for the assessment of the wastewater industrial quality of the Salam Gas - Skhirat).
- Demetriou D., 2014, "Land Consolidation", In: Demetriou D., *The Development of an Integrated Planning and Decision Support System (IPDSS) for Land Consolidation*, Springer International Publishing.
- Demetriou D., 2016, "The assessment of land valuation in land consolidation schemes: The need for a new land valuation framework". *Land Use Policy*, vol. 54, 487-498.
- Demetriou D., See L., Stillwell J., 2013, "A Parcel Shape Index for Use in Land Consolidation Planning: A Parcel Shape Index for Use in Land Consolidation Planning", *Transactions in GIS*, vol. 17, No.6, 861-882.
- Dépigny S., 2007, *Le modèle PAYSAGRI Expérimentation de la sensibilité au paysage des agriculteurs comme facteur des évolutions du paysage rural*, Thèse de doctorat en agronomie, Agroparistech.

Douglas D.H., Peucker T.K., 1973, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature", *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 10, No.2, 112-122.

Duflot R., 2013, "Hétérogénéité fonctionnelle et biodiversité : Quel est le rôle des interfaces ou lisières dans les paysages agricoles ?", *Sciences agricoles*, Université Rennes 1.

Durpoix A., Puech T., Barataud F., Mignolet C., 2017, "Reconstituer des parcellaires agricoles par rapprochement de données sur les caractéristiques des exploitations agricoles à partir du RPG (registre parcellaire graphique) pour différentes applications", *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, vol. 92, 1-14.

Francart C., Pivot J.M., 1998, "Incidences de la structure parcellaire sur le fonctionnement des exploitations agricoles en région de bocage", *Ingénieries - EAT*, vol. 14, 41-54.

Gaujour E., 2010, *Évaluation des sources d'espèces et des déterminants de la diversité végétale des parcelles agricoles*, Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Institut national polytechnique de Lorraine.

Gravelius, H., 1914, "Grundriß der gesamten Gewässerkunde", *Band 1 : Flußkunde (Compendium of Hydrology ?*, vol. 1 : *Rivers, in German*), Göschen, Berlin, Germany.

Gyenzse P., Bogнар Z., Czigany S., Elekes T., 2014, "Landscape shape index, as potential indicator or urban development in Hungary", *Landscape & Environment*, vol. 8, No.2, 78-88.

Hilal M., Barczak A., Tourneux F.P., Schaeffer Y., Houdart M., Cremer-Schulte D., 2011, *Typologie des campagnes françaises et des espaces à enjeux spécifiques (littoral, montagne et DOM)*, [en ligne]. URL : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00911232/>

Hugerot T., Astrade L., Ployon E., Gauchon C., 2017, "Reconstituer les trajectoires paysagères par photo-interprétation semi-automatisée et télédétection : Géohistoire d'un cône de déjection torrentiel en vallée de Maurienne (Savoie)", *VertigO*, vol. 17, No.2.

Jepsen M.R., Kuemmerle T., Müller D., Erb K., Verburg P.H., Haberl H. *et al.*, 2015, "Transitions in European land-management regimes between 1800 and 2010", *Land Use Policy*, vol. 49, 53-64.

Kay S., de Laroche E., 2007, "Status of the Implementation of LPIS in the EU Member States", 41-48.

Latruffe L., Diazabakana A., Bockstaller C., Desjeux Y., Finn J., Kelly E. *et al.*, 2016, "Measurement of sustainability in agriculture: A review of indicators", *Studies in Agricultural Economics*, vol. 118, No.3, 123-130.

Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E. *et al.*, 2008, "Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies", Expertise scientifique collective INRA.

Lê S., Josse J., Husson F., 2008, "FactoMineR : An R Package for Multivariate Analysis", *Journal of Statistical Software*, vol. 25, No.1, 1-18.

Ma M., Hietala R., Kuussaari M., Helenius J., 2013, "Impacts of edge density of field patches on plant species richness and community turnover among margin habitats in agricultural landscapes", *Ecological Indicators*, vol. 31, 25-34.

Marie M., Bensaid A., Delahaye D., 2009, "Le rôle de la distance dans l'organisation des pratiques et des paysages agricoles : L'exemple du fonctionnement des exploitations laitières dans l'arc atlantique", *Cybergeo : European journal of geography*, [en ligne]. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/22366>

Marochini E., 1999, *Les remembrements en Moselle entre économie, environnement et société*, Université de Metz.

Martel G., Aviron S., Joannon A., Lalechère E., Roche B., Boussard H., 2019, "Impact of farming systems on agricultural landscapes and biodiversity: From plot to farm and landscape scales", *European Journal of Agronomy*, vol. 107, 53-62.

Matheron G., 1970, "La théorie des variables généralisées et ses applications", *Les Cahiers Du Centre de Morphologie Mathématiques de Fontainebleau*, vol. 5.

McGarigal K., Marks B.J., 1995, "FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure", *Gen. Tech. Rep.*, PNW-GTR-351, Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Rese.

Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2007, "Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale", *Science of The Total Environment*, vol. 375, No.1-3, 13-32.

Moraine M., Grimaldi J., Murgue C., Duru M., Therond O., 2016, "Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level", *Agricultural Systems*, vol. 147, 87-97.

Morlon P., Benoit M., 1990, "Étude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système", *Agronomie*, vol. 6, 499-508.

Murgue, C., Therond, O., Leenhardt, D., 2016, "Hybridizing local and generic information to model cropping system spatial distribution in an agricultural landscape", *Land Use Policy*, vol. 54, 339-354.

Newbold T., Hudson L.N., Hill S.L.L., Contu S., Lysenko I., Senior R.A. *et al.*, 2015, "Global effects of land use on local terrestrial biodiversity", *Nature*, vol. 520, No.7545, 45-50.

Pauchard L., Madeline P., Marie M., 2016, "L'échange parcellaire : Une nouvelle étape dans l'aménagement foncier de l'Ouest français", *Norois*, vol. 240, [en ligne]. URL : <http://norois.revues.org/5928>

Philippe M.A., Polombo N., 2009, "Soixante années de remembrement : Essai de bilan critique de l'aménagement foncier en France", *Études Foncières*, Compagnie d'édition Foncière, 43-49.

Puech T., Durpoix A., Barataud F., Mignolet C., 2020, "Une méthode pour caractériser l'organisation spatiale des parcellaires d'exploitations agricoles", *Cybergeo : European journal of geography*, [en ligne]. URL: <http://journals.openedition.org/cybergeo/34181>

Puech T., Schott C., Mignolet C., 2020, "Characterising the diversity and spatial differentiation of crop managements at a regional scale", *European Journal of Agronomy*, vol. 120, No.126112, 1-13

SAFER, 2020, Barème indicative de la valeur vénale des terres, [en ligne]. URL: www.safer.fr.

Schader C., Grenz J., Meier M.S., Stolze M., 2014, "Scope and precision of sustainability assessment approaches to food systems", *Ecology and Society*, vol. 19, No.3.

Sirami C., Gross N., Bøsem Baillod A., Bertrand C., Carrié R. *et al.*, 2019, "Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions", *PNAS*, vol. 116, No.33, 16442-16447

Therond O., Tichit M., Tibi A., Accatino F., Biju-Duval L., Bockstaller C. *et al.*, 2017, "Écosystèmes agricoles", *Évaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques*, Rapport d'étude, INRA.

Uthes S., Kelly E., König H.J., 2020, "Farm-level indicators for crop and landscape diversity derived from agricultural beneficiaries data", *Ecological Indicators*, vol. 108, 105725.

Vitikainen A., 2004, "An Overview of Land Consolidation in Europe", *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research*, vol. 1, 25-44.

Ward J.H., 1963, "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 58, No.301, 236-244.

WCED, 1987, "Our common future", *Oxford: Oxford University Press*.

Wentz E., 2000, "A Shape Definition for Geographic Applications Based on Edge, Elongation, and Perforation", *Geographical Analysis*, vol. 32, No.1, 95-112.

RÉSUMÉS

Les politiques publiques agricoles et l'évolution des techniques agricoles ont entraîné ces dernières décennies une transformation des paysages agricoles. L'entité spatiale de gestion des activités agricoles, la parcelle, est généralement décrite selon des indicateurs qui rendent peu compte de la complexité de ses formes. Cet article propose une méthode permettant de caractériser la diversité morphologique des parcelles agricoles à l'échelle nationale. Fondée sur les données du Registre Parcellaire Graphique de la France métropolitaine (9,3 millions de parcelles en 2016), la méthode combine les outils de la géomatique et de l'analyse statistique multivariée pour produire une typologie en 20 morphologies parcellaires contrastées et spatialement différenciées sur la base de six indicateurs relatifs aux contours et à l'aire des parcelles. Nous montrons que les formes parcellaires simplifiées (formes rectangulaires) sont particulièrement présentes dans les systèmes en grandes cultures alors que les formes à contours irréguliers se retrouvent principalement en région d'élevage herbager. Des liens peuvent être établis avec les trajectoires agricoles de certains territoires : en particulier, les grandes parcelles simples sont principalement localisées dans les territoires céréaliers fortement remembrés ces dernières décennies. La typologie des morphologies de parcelles peut contribuer à modéliser les services écosystémiques à des échelles régionales voire nationales ou à évaluer certaines politiques publiques d'aménagement des territoires ruraux.

Public agricultural policies and the evolution of agricultural techniques have led to a transformation of agricultural landscapes in recent decades. The spatial entity of agricultural management, the plot, is generally described with indicators that do not reflect the complexity of its forms. This article proposes a method to characterize the morphological diversity of agricultural plots at the national scale. Based on data from the Land-Parcel Identification System of metropolitan France (9,3 million plots in 2016), this method combines tools of geomatics and multivariate statistical analysis to produce a typology in 20 contrasting and spatially differentiated plot morphologies based on six indicators related to plot contours and area. We show that simplified plot shapes (rectangular shapes) are particularly present in field crop systems, whereas irregularly shaped plots are typical of grassland systems. We could establish a link with the history of some areas, with a strong representation of large simple plots cereal basins in northern France where land consolidation was generalized in recent decades. The typology of plot morphologies can contribute to model ecosystem services at regional or even national scales or to evaluate public policies for rural areas.

En las últimas décadas las políticas públicas agrícolas y la evolución en sus técnicas de explotación han implicado una transformación de tales paisajes. La entidad espacial para la gestión de las actividades agrícolas, la parcela, generalmente es descrita según indicadores que

no consideran la complejidad de sus formas. Este artículo propone un método para caracterizar la diversidad morfológica de parcelas agrícolas a escala nacional. A partir de datos del Registro Gráfico de Parcelas de Francia Metropolitana (9,3 millones de parcelas en 2016) y combinando métodos geomáticos y análisis estadístico multivariado, se propone una tipología de 20 morfologías de parcelas contrastadas y diferenciadas espacialmente sobre la base de seis indicadores relacionados con sus contornos y áreas. Mostramos que las formas simplificadas de las parcelas (rectangulares) están particularmente presentes en los sistemas de cultivos, mientras que las formas con contornos irregulares se aprecian en las regiones agrícolas orientadas a la ganadería y pastizales. Además, se pueden establecer vínculos con las trayectorias agrícolas de ciertos territorios, donde las parcelas de mayor tamaño se localizan principalmente en territorios cerealistas consolidados en las últimas décadas. La tipología de las morfologías de las parcelas puede contribuir a modelar los servicios ecosistémicos a escala regional o incluso nacional y evaluar determinadas políticas públicas para la planificación de los territorios rurales.

INDEX

Keywords : typology, spatial analysis, multivariate analysis, landscape modeling/modelling
geographyun 908, 926, 250

Mots-clés : typologie, analyse spatiale, analyse multivariée, modélisation paysagère

Palabras claves : tipología, análisis espacial, análisis multivariado, modelado del paisaje

AUTEURS

THOMAS PUECH

INRAE, UR0055, 662 avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt, France, thomas.puech@inrae.fr

CATHERINE MIGNOLET

INRAE, UR0055, 662 avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt, France, catherine.mignolet@inrae.fr