



HAL
open science

Un graphe spatio-temporel pour modéliser l'évolution de parcelles agricoles

Aurélie Leborgne, Adrien Meyer, Henri Giraud, Florence Le Ber, Stella Marc-Zwecker

► To cite this version:

Aurélie Leborgne, Adrien Meyer, Henri Giraud, Florence Le Ber, Stella Marc-Zwecker. Un graphe spatio-temporel pour modéliser l'évolution de parcelles agricoles. SAGEO, Nov 2019, Clermont-Ferrand, France. hal-02375094

HAL Id: hal-02375094

<https://hal.science/hal-02375094>

Submitted on 21 Nov 2019

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.

Un graphe spatio-temporel pour modéliser l'évolution de parcelles agricoles

Aurélie Leborgne, Adrien Meyer, Henri Giraud, Florence Le Ber, Stella Marc-Zwecker

*ICube UMR 7537, Université de Strasbourg, CNRS, ENGEES, 67400 Illkirch, France
{aurelie.leborgne, stella, henri.giraud}@unistra.fr, florence.leber@engees.unistra.fr*

RÉSUMÉ. Dans cet article nous présentons une variante du graphe spatio-temporel défini par (Del Mondo et al., 2010), permettant de tenir compte d'entités spatio-temporelles nombreuses, imprécises, et non connectées. Le graphe proposé est appliqué aux données issues du registre parcellaire graphique, où les agriculteurs déclarent leurs cultures, en respect de la politique agricole européenne. Une méthode de simplification est proposée, afin de réduire la taille du graphe. Notre objectif final est d'utiliser ce modèle pour représenter et fouiller les grandes masses de données spatio-temporelles disponibles en sciences de l'environnement.

ABSTRACT. This article describes a variation of the spatio-temporal graph model defined by (Del Mondo et al., 2010). This variation allows to represent numerous spatio-temporal entities, that can be vague and disconnected. This model is used to represent data from the Land Parcel Identification System where farmers declare their crops with respect to European agricultural policy. A simplification method is described, that allows to reduce the graph size. Our final aim is to use this model for representing and analyzing big spatio-temporal data in environment sciences.

MOTS-CLÉS : Données spatio-temporelles, graphe, modélisation, agriculture

KEYWORDS: Spatio-temporal data, graph, modeling, agriculture

1. Introduction

Actuellement, des quantités massives de données spatio-temporelles hétérogènes peuvent être accumulées. Elles peuvent être issues de grandes bases de données géographiques, de séries d'images satellite, de capteurs, *etc.* Ces données doivent être fouillées afin d'extraire des informations pertinentes, intéressantes et utilisables dans diverses applications, comme la compréhension d'un phénomène particulier, la mise en évidence d'une même évolution à différents endroits, la prédiction d'un phénomène, *etc.* De manière plus précise, pour extraire de la connaissance de ces données, il est nécessaire de connaître les différents éléments qui caractérisent les phénomènes (le *quoi*), la manière dont ces éléments se répartissent dans l'espace (le *où*), ainsi que le moment où ces éléments apparaissent (le *quand*) (Peuquet, Wentz, 1994).

Il existe de nombreuses manières de modéliser les données spatio-temporelles. Le modèle *snapshot* (Armstrong, 1988; Chen *et al.*, 2013) permet d'obtenir un ensemble de couches indépendantes, où une couche décrit les états spatiaux des zones à un temps donné. Le modèle *Space-Time Composite* (Langran, Chrisman, 1988) peut être vu comme une extension du modèle *snapshot*. Il permet de prendre en compte le changement d'une entité en lui ajoutant des attributs qui décrivent ce changement dans le temps. Par ailleurs, le modèle *Spatio-Temporal Object* (Worboys, 1994) permet de représenter l'évolution d'une zone grâce à trois dimensions. Les deux premières dimensions permettent de représenter les empreintes spatiales, et la troisième, l'évolution des empreintes spatiales dans le temps. En revanche, ces modèles ne peuvent représenter que des changements soudains.

D'autres approches s'attachent à représenter les changements liés à l'identité. Elles exploitent, en particulier, des modèles de trajectoires d'entités dans l'espace et dans le temps (Hornsby, Egenhofer, 2002). Toutefois, ces modèles ne permettent pas d'analyser correctement l'évolution de l'espace et du temps du fait qu'ils ne gèrent pas simultanément des informations sur le *où*, le *quand* et le *quoi*.

Dans le cadre de notre projet, qui s'intéresse aux évolutions de l'usage agricole des sols, nous nous focalisons sur les représentations à l'aide de graphes, qui sont des outils puissants permettant de modéliser un phénomène dynamique de manière assez naturelle. Dans la majorité des graphes, les sommets modélisent les entités dans un domaine donné et les arêtes, les relations existant entre deux entités. Dans un premier temps, les recherches se sont focalisées sur les relations spatiales (Jiang, Claramunt, 2004). Certains auteurs se concentrent sur les relations spatio-temporelles entre deux entités. Plus précisément, une arête entre deux entités consécutives, au sens temporel du terme, permet de représenter le fait que l'espace occupé par la première entité est lié à l'espace occupé par la deuxième entité (Khiali *et al.*, 2018; Aydin, Angryk, 2016). (Sriti *et al.*, 2005) utilisent également un graphe orienté en combinant un graphe avec des relations spatiales et un graphe avec des relations spatio-temporelles. À aucun moment, ces dernières méthodes ne prennent en compte le *quoi*, c'est-à-dire l'identité des entités. Signalons aussi les travaux de (Degenne, Lo Seen, 2016) qui utilisent les graphes pour simuler des phénomènes spatio-temporels : les arêtes représentent ici

des interactions entre entités. Concernant les applications agricoles, notons encore les travaux de (Guyet, Moinard, 2014) où les graphes servent à la fois pour fouiller puis simuler des parcelles agricoles.

Finalement, une des seules méthodes possibles, permettant de modéliser nos données dans le but de les fouiller efficacement tout en suivant leur évolution, était l'utilisation de graphes spatio-temporels (Del Mondo *et al.*, 2010) dans lesquels trois types de relations existent (spatiale (*où?*), temporelle (*quand?*) et filiation (*quoi?*)).

L'article s'organise comme suit. Dans la section 2 nous présentons les données et la problématique visée, tandis que la section 3 s'attache à la définition d'un graphe spatio-temporel modélisant l'évolution des parcelles agricoles. Les sections 4 et 5 traitent du calcul et de la simplification du graphe. La section 6 conclue cet article et dresse quelques perspectives de travail.

2. Données utilisées

Les évolutions actuelles de l'agriculture, entre agriculture biologique et industrielle, les risques de dégradation de la biodiversité et des ressources en eau, conduisent de nombreux chercheurs à s'intéresser à la compréhension et à la prévision des évolutions de paysages agricoles (Poggi *et al.*, 2018). Par exemple, la disparition de prairies permanentes au profit de grandes cultures conduit d'une part à la dégradation des ressources en eau, d'autre part à l'augmentation des risques d'érosion des terres. Inversement, l'installation de haies permet de préserver les sols et peut favoriser les auxiliaires de cultures. Pour mener ces études, différentes méthodes sont développées, et différentes sources de données sont exploitées : l'imagerie satellitaire, les enquêtes de terrain, et grâce au mouvement d'ouverture des données mis en oeuvre par l'état, des données administratives, tel que le Registre Parcellaire Graphique (RPG).

Le RPG est une base de données géographique mise en place par la France afin de répondre à l'exigence de l'Union Européenne pour tous les Etats Membres de localiser et d'identifier les parcelles agricoles en contrepartie des aides versées au titre de la politique agricole commune (PAC). Le RPG a été mis en place en 2002 et compile les données issues des déclarations de surfaces agricoles effectuées chaque année par les agriculteurs eux-mêmes. Ainsi tous les ans, chaque exploitant doit dessiner et mettre à jour les îlots de culture qu'il exploite, et déclarer les cultures qui y sont pratiquées et leurs surfaces. Le RPG contient plus de 7 millions de parcelles, la figure 1 en montre un extrait pour la plaine du Rhin.

La version diffusée dans le cadre du service public de mise à disposition des données de référence est dite "anonymisée" puisque certaines informations déclarées par les exploitants sont retirées. Les attributs contenus dans la version 2.0 du RPG et associés à chacune des parcelles correspondent à :

- un identifiant unique de la parcelle,
- un code permettant de connaître la culture principale sur la parcelle,



Figure 1. Extrait du millésime 2017 du RPG sur la plaine d'Alsace

- un code permettant de connaître à quel groupe de cultures appartient la culture de la parcelle,
- deux codes permettant de connaître les cultures dérobées, c'est-à-dire les cultures intercalées entre deux cultures principales.

Bien que le RPG constitue une source précieuse d'informations fournissant des détails sur l'état et l'évolution de l'occupation du sol et des structures foncières, il doit cependant être utilisé avec précaution car la situation donnée par le RPG est approximative, en particulier à cause de l'absence de certaines surfaces agricoles (surfaces des exploitations non aidées par exemple), mais aussi à cause de la variabilité d'une année sur l'autre (évolution des aides, surfaces non déclarées pour une raison relative à la vie d'une exploitation), ou encore de modifications effectuées par l'exploitant alors même qu'il n'y a aucun changement sur le terrain. Notons par ailleurs qu'il existe un outil dédié pour exploiter ces données, appelé RPG Explorer (Levasseur *et al.*, 2016).

Dans le RPG, les parcelles sont des polygones, représentés par la liste de leurs sommets géoréférencés. Dans la suite chacun des polygones est considéré comme une entité connexe, sans trou et dotée d'une frontière et d'un intérieur. Pour une entité A , on note δA sa frontière, A° son intérieur. On note aussi A^e son extérieur, et pour certaines situations liées à l'imprécision des données, ΔA représentera la *frontière épaisse* de l'entité (voir section 3.2).

3. Un graphe spatio-temporel de parcelles agricoles

Nous nous appuyons sur le modèle de graphe spatio-temporel qui est défini par (Del Mondo *et al.*, 2010) comme l'union de trois sous-graphes (voir figure 2) :

– **Le graphe des relations spatiales**, qui représente les interactions spatiales entre entités à un moment donné. Les relations utilisées dans (Del Mondo *et al.*, 2010) sont les relations de la théorie RCC8 (Region Connection Calculus) (Randell *et al.*, 1992).

– **Le graphe des relations spatio-temporelles**, qui représente les interactions spatiales entre entités à des moments successifs. De même que pour le graphe spatial, sont utilisées ici les relations RCC8.

– **Le graphe des relations de filiation**, qui représente la transmission de l'identité à entre entités à des temps différents; deux types de filiation sont considérées, la continuation et la dérivation, notées respectivement γ et δ sur la figure 2.

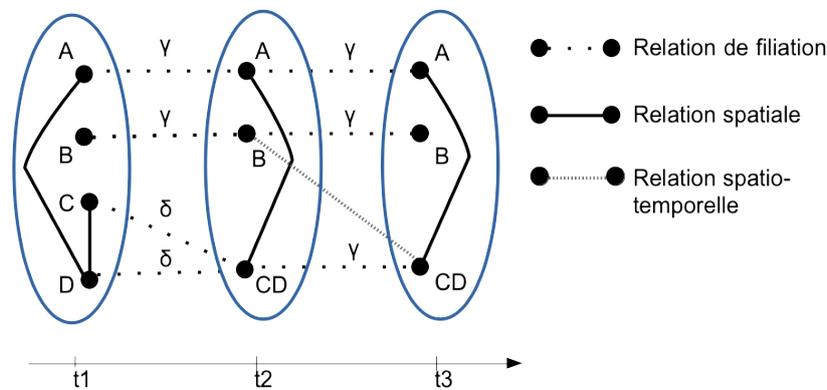


Figure 2. Le modèle de graphe spatio-temporel proposé par (Del Mondo *et al.*, 2010)

Les différents types de relations pour notre application sont précisés ci-dessous.

3.1. Choix des relations spatiales

Les huit relations de base de la théorie RCC8 (Randell *et al.*, 1992) permettent de décrire de façon exhaustive et disjointe (une seule relation est vérifiée) la position relative de deux entités. Ces relations sont les suivantes : $TPP(x, y)$ (x est partie propre tangentielle de y), $TPPI(x, y)$ (x contient y comme partie propre tangentielle), $NTPP(x, y)$ (x est une partie propre non-tangentielle de y), $NTPPI(x, y)$ (x contient y comme partie propre non tangentielle), $PO(x, y)$ (x recouvre partiellement y), $EC(x, y)$ (x est connecté extérieurement à y), $DC(x, y)$ (x est déconnecté de y), et $EQ(x, y)$ (x et y sont égales).

Notons que, pratiquement, peu de relations RCC8 sont vérifiées : de fait, il n'y a pas de recouvrement complet entre des parcelles distinctes, ce qui exclut les relations EQ , TPP , $NTPP$ et leurs inverses. De plus, la relation DC est représentée implicitement dans le graphe par l'absence d'arête. Pour enrichir le modèle, et tenir compte des particularités des données du RPG (les parcelles sont rarement connexes), nous avons ajouté des relations de proximité. Nous introduisons tout d'abord une distance

entre deux entités, mesurée comme le minimum des distances euclidiennes $d(x, y)$ entre les points x et y des deux frontières des entités.

DÉFINITION 1. — Soient A et B deux parcelles, la distance entre A et B est définie par $d(A, B) = \min_{x \in \delta A, y \in \delta B} d(x, y)$

Sur cette base, nous distinguons deux types de relation de proximité, une proximité absolue et une proximité relative à la taille des parcelles. Ces deux notions peuvent rendre compte de phénomènes différents, d'une part l'existence de zones séparant deux parcelles (chemins, haies) et d'autre part de l'influence d'une parcelle sur une autre, qui dépend de la taille relative des parcelles (par ex. diffusion de gènes entre cultures). La relation de proximité absolue permet de relier deux à deux les parcelles se situant à moins d'une distance b l'une de l'autre. Dans le cadre de notre étude, $b = 2$ mètres. Les parcelles A et B sont *absolument proches* ($p_a(A, B)$) si et seulement si :

$$0 < d(A, B) \leq b \quad (1)$$

La relation de proximité relative permet de relier une parcelle à une autre si leur distance respecte un seuil proportionnel à l'aire de la seconde. Formellement, la parcelle A est *relativement proche* de B , ($p_r(A, B)$) si et seulement si :

$$0 < d(A, B) \leq \frac{\sqrt{R_B}}{N} \quad (2)$$

où R_B est l'aire de la parcelle B et N est un nombre arbitraire. Cette relation n'est pas symétrique : une petite parcelle peut être proche d'une parcelle plus importante, au sens où elle subit l'influence de cette grande parcelle sur la majeure partie de sa surface, mais l'inverse n'est pas forcément vrai (Lavigne *et al.*, 2008).

3.2. Choix des relations spatio-temporelles

Une relation spatio-temporelle repose sur la même base de définition que les relations spatiales, mais entre des entités définies à des temps différents. Les données RPG étant annuelles, nous considérons uniquement des relations entre entités de deux années successives : sont calculées les relations entre les parcelles des temps t et $t + 1$ ayant des empreintes spatiales non disjointes. Contrairement au cas des relations spatiales, l'ensemble des relations RCC8 est exploité pour les relations spatio-temporelles : en effet, EQ correspond à l'invariance, TPP et $NTPP$ à l'agrandissement, $TPPI$ et $NTTPI$ au rétrécissement d'une parcelle entre deux temps.

Par ailleurs, pour tenir compte de l'imprécision temporelle des données (la même parcelle, à deux dates successives, pouvant ne pas recouvrir exactement la même surface, en raison de l'inexactitude des mesures de délimitation sur le terrain), nous proposons d'utiliser une extension de RCC8 pour des régions à frontières épaisses (Cohn, Gotts, 1996 ; Clementini, Di Felice, 1997), que nous appelons *relations spatio-temporelles floues*. Les modèles proposés comptent 44 à 46 relations. Chaque relation peut être rattachée à une ou plusieurs relations de RCC8. Compte tenu des caractéristiques des données, nous avons considéré l'ensemble des configurations proposées,

puis nous l'avons divisé en sous-ensembles, affecté chacun à une seule relation RCC8 (voir le groupe correspondant à la relation *EC* sur la figure 3).



Figure 3. Relations spatio-temporelles floues : les 4 configurations rattachées à la relation *EC*

Notons qu'il est tout à fait possible d'appliquer ce modèle de relations floues pour prendre en compte une imprécision spatiale, liées aux caractéristiques des données, mais cela n'est pas nécessaire pour les données RPG.

3.3. Relations de filiation

Nous discernons deux types de relations de filiation en accord avec (Del Mondo *et al.*, 2010) :

- **La filiation de type continuation** : deux parcelles *A* et *B* sont en relation de continuation si *A* et *B* ont la même identité, c'est-à-dire qu'il s'agit de la même entité mais à des temps différents. Par conséquent, une entité ne peut recevoir au plus qu'une seule relation de continuation.

- **La filiation de type dérivation** : deux parcelles *A* et *B* sont en relation de filiation de type dérivation si *B* dérive de *A* et potentiellement d'autres entités. Une partie de l'information contenue par *A* est présente dans *B*.

L'*identité* d'une parcelle est décrite dans le *RPG*, et elle est conservée d'une édition à l'autre du *RPG* (pour les éditions postérieures à 2015), lorsque la géométrie de la parcelle n'est pas modifiée. Un exemple de graphe de relations de filiation est présenté sur la Figure 4 pour un groupe de parcelles à deux temps différents.

4. Calcul des relations

Le calcul des relations spatiales entre deux entités *A* et *B* s'appuie sur une matrice d'intersection (Egenhofer, Al-Taha, 1992) de la forme :

$$MI = \begin{Bmatrix} \dim(A^\circ \cap B^\circ) & \dim(A^\circ \cap \delta B) & \dim(A^\circ \cap B^e) \\ \dim(\delta A \cap B^\circ) & \dim(\delta A \cap \delta B) & \dim(\delta A \cap B^e) \\ \dim(A^e \cap B^\circ) & \dim(A^e \cap \delta B) & \dim(A^e \cap B^e) \end{Bmatrix}$$

où *dim* est le nombre maximum de dimensions de l'ensemble résultant de l'intersection des ensembles intérieurs (X°), frontières (δX) ou extérieurs (X^e) des entités *A* et *B*. Notons donc que $0 \leq \dim \leq 2$. Par ailleurs, le symbole \emptyset est utilisé lorsque $\dim = 0$ et $-\emptyset$ lorsque $\dim > 0$. La figure 5 présente un exemple de masque correspondant à la relation topologique de recouvrement partiel. Ceci nous permet d'établir

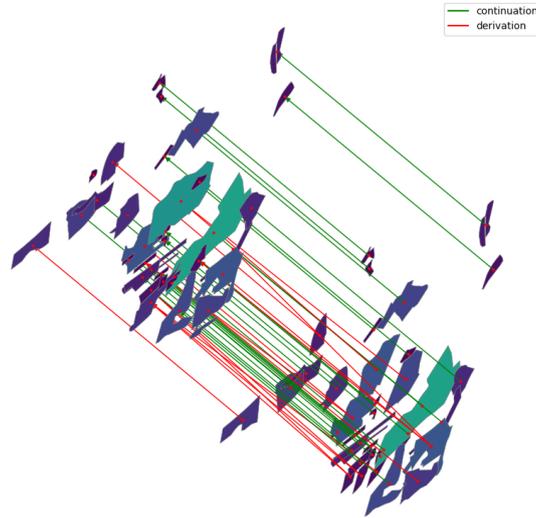


Figure 4. Visualisation d'un graphe de relations de filiation entre parcelles à deux temps différents ; les relations de continuation sont figurées en rouge, celles de dérivation en vert ; les couleurs des parcelles n'ont pas de signification

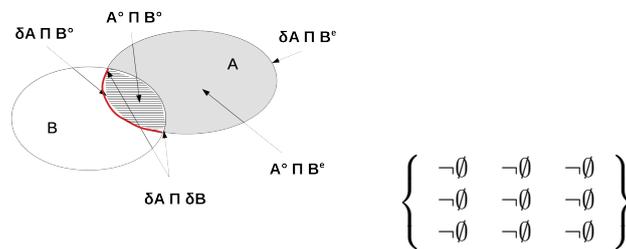


Figure 5. Exemple de la relation PO, intersections et matrice associée

les relations entre les parcelles en comparant, grâce à un ET logique, la matrice MI obtenue aux différents masques de référence.

Pour les relations de proximité présentées au paragraphe 3.1, nous utilisons la même méthode en manipulant un polygone dilaté d'une distance fixée pour la relation à calculer et les parcelles concernées.

Pour les relations spatio-temporelles floues, est utilisée la même approche, mais en considérant une frontière épaisse et en exploitant les matrices définies dans (Clementini, Di Felice, 1997). La figure 6 présente un exemple de masque correspondant à une relation topologique floue rattachée à EC.

Pour mettre en œuvre cette méthode, et pallier les problèmes de calcul liés à la grande dimension des données, nous avons introduit un index spatial sous la forme

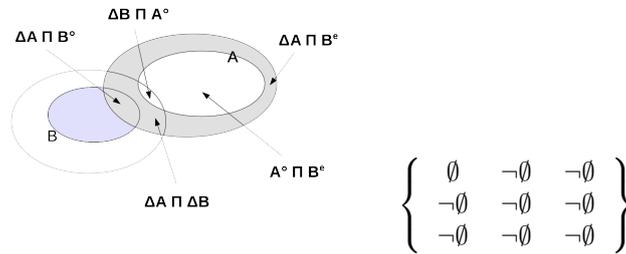


Figure 6. Exemple d'une relation EC floue (frontière épaisse), intersections et matrice associée

d'un R-arbre tel que décrit dans (Guttman, 1984). Chaque feuille de l'arbre représente une entité dans son rectangle englobant minimal ; au niveau supérieur, les entités proches sont regroupées et représentées avec leur rectangle englobant minimal dans un nœud ; le processus est réitéré à chaque niveau de l'arborescence, où les nœuds représentent un nombre croissant d'entités. Cette structure peut aussi être vue comme une approximation de plus en plus grossière de l'ensemble des données, ce qui nous permet de limiter le nombre de couples d'entités à tester. Une requête sur le R-arbre a une complexité moyenne en $O(\log n)$, avec n le nombre de parcelles (versus n^2 pour l'approche naïve), ce qui permet de calculer les relations entre les parcelles en un temps raisonnable. Par exemple, 76740 polygones sont traités en 2 minutes par la méthode exploitant les R-arbres alors que la méthode naïve prend 3766 minutes, soit plus de deux jours.

5. Simplification du graphe

Un graphe spatio-temporel de parcelles est constitué d'un ensemble de sommets (représentant les parcelles, avec leurs attributs) et de de trois ensembles d'arêtes, représentant respectivement les relations spatiales, spatio-temporelles et de filiation entre parcelles. Compte tenu de la taille des données traitées, le nombre de relations explose rapidement, et pour faciliter l'exploitation du graphe, il est nécessaire de le simplifier. Pour cela, nous avons choisi de nous focaliser sur la sémantique des données. Plus précisément, nous avons choisi de regrouper en un seul sommet les sommets qui sont spatialement en relation (dans notre cas, des sommets liées par les relations *PO*, *EC* ou de proximité) et qui partagent les mêmes valeurs d'attributs (ici le même type de culture pour l'année considérée).

La procédure consiste à parcourir le graphe et à tester si des sommets en relation portent les mêmes valeurs d'attributs. Si c'est le cas, les sommets peuvent être remplacés par un seul sommet, et il est alors nécessaire d'adapter les relations entrantes et sortantes des anciens sommets vers le nouveau. Cependant, il ne peut pas y avoir plus d'une relation spatiale entre deux sommets. La figure 7 décrit une situation où une parcelle *A* est en relation avec deux parcelles *U* et *V*, qui sont elles-mêmes en relation. *U* et *V* possèdent les mêmes attributs et sont donc regroupées. Le sommet résultant, noté

U' , est relié par deux relations spatiales avec A , $relAU$ et $relAV$ qu'il faut réduire en une relation résultante. Comme montré sur la figure 7, $relAU$ est une relation EC et $relAV$ une relation PO , donc AU' est une relation PO . Nous pouvons dire, en effet, que PO est *plus prioritaire* que EC lors d'un conflit entre deux relations. On note $relation_1 \oplus relation_2$ (respectivement \ominus) pour " $relation_1$ est *plus prioritaire (ou égal) que* $relation_2$ " (respectivement *moins prioritaire que*). Dans le cadre de notre application, les priorités entre les relations spatiales sont $PO \oplus EC \oplus p_a \oplus p_r$.

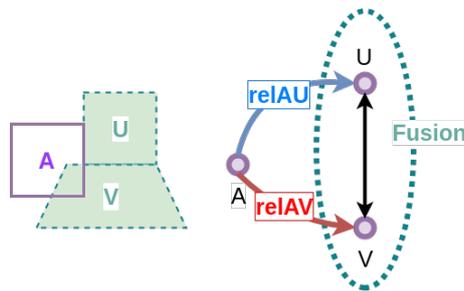


Figure 7. Regroupement de parcelles, le sommet A est en relation avec les sommets U et V qui fusionnent

Algorithme 1 : Simplification de graphe spatial

Data : graphe étudié, ensemble des critères, ensemble des relations à simplifier

Result : Le graphe simplifié sur nos critères

```

1 soit  $L(X, Y, rel1)$  un lien de type rel1 entre les sommets X et Y
2 soit  $X \nrightarrow Y$  une notation indiquant que X et Y n'ont pas de liens
3 forall liens  $L(U, V, relUV)$  devant être simplifié do
4   forall liens  $L(A, V, relAV)$  entrant sur V do
5     if  $A \nrightarrow U$  then
6       ajouter  $L(A, U, relAV)$  au graphe
7     else if  $relAV$  prioritaire sur  $relAU$  then
8       mettre à jour lien( $A, U, relAV$ )
9   end
10  forall liens  $L(V, B, relVB)$  sortant de V do
11    if  $U \nrightarrow B$  then
12      ajouter  $L(U, B, relVB)$  au graphe
13    else if  $relVB$  prioritaire sur  $relUB$  then
14      mettre à jour lien( $U, B, relVB$ )
15  end
16  Fusionner les données de U et V dans U
17  supprimer  $U \rightarrow V$ 
18  supprimer  $V \rightarrow U$ 
19  supprimer V
20 end

```

L'algorithme 1 permet de simplifier le graphe spatial. La figure 8 montre la différence entre le graphe spatial initial et le graphe simplifié pour un petit nombre de parcelles (sont représentées en bleu les relations de proximité relative, en vert les relations de proximité absolue et en orange les relations *EC*).



Figure 8. A gauche, les relations spatiales pour un extrait du RPG, à droite, après simplification : les parcelles en orange et en jaune sont des regroupements

L'étape suivante, non décrite ici, consiste à simplifier les relations spatio-temporelles : d'une part en rétablissant les relations spatio-temporelles adéquates pour les sommets fusionnés spatialement, d'autre part en fusionnant des sommets de temps différents portant la même sémantique (par exemple, une parcelle qui, à des temps successifs, porte une succession de cultures reconnue). Les relations de filiation devront également être rétablies (par exemple, en remplaçant les relations de continuation arrivant aux parcelles fusionnées spatialement par des relations de dérivation).

6. Conclusion et perspectives

Dans ce travail, nous proposons d'utiliser un graphe spatio-temporel permettant de modéliser l'évolution de données agricoles dans le temps et l'espace. Ce modèle de graphe a été défini dans (Del Mondo *et al.*, 2010) dans un contexte plus général, mais avec des applications réduites. Nous l'avons adapté afin de traiter des grandes données issues du registre parcellaire graphique (RPG).

Nous proposons tout d'abord d'étendre les relations spatiales en définissant deux types de proximité adaptées aux particularités des phénomènes sur les parcelles agricoles. Nous proposons aussi d'utiliser un modèle de relations floues pour tenir compte de l'incertitude sur la localisation des mêmes parcelles dans le temps. Grâce aux identités des parcelles fournies par le RPG, nous avons également construit les relations de filiation afin d'obtenir un graphe spatio-temporel complet, comme défini par (Del Mondo, 2011).

Nous exploitons une méthode efficace pour détecter les relations entre parcelles et réduire le temps de calcul. Finalement nous nous sommes intéressés à la simplification du graphe spatio-temporel. Nous présentons un algorithme de simplification du graphe spatial avec regroupement des sommets voisins portant les mêmes attributs et suppression des relations redondantes. Ces stratégies nous ont ainsi permis de réduire la complexité des calculs de détection et d'améliorer notre modélisation.

Malgré cela, le graphe construit est complexe, même sur des ensembles de données restreints, et il devient rapidement difficile à visualiser. Des travaux sont en cours pour améliorer cet aspect. Au-delà nous travaillerons au développement de méthodes de fouille permettant de résumer les graphes, ou d'en extraire les informations pertinentes dans un cadre applicatif donné.

Bibliographie

- Armstrong M. P. (1988). Temporality in spatial databases. In *GIS/LIS 88 Proceedings: Accessing the World, Falls Church, VA*, vol. II, p. 880–889. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Aydin B., Angryk R. A. (2016). A graph-based approach to spatiotemporal event sequence mining. In *2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, p. 1090–1097.
- Chen J., Wu H., Li S., Liao A., He C., Peng S. (2013). Temporal logic and operation relations based knowledge representation for land cover change web services. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 83, p. 140–150.
- Clementini E., Di Felice P. (1997). Approximate topological relations. *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 16, n° 2, p. 173–204.
- Cohn A. G., Gotts N. M. (1996). The "Egg-Yolk" representation of regions with indeterminate boundaries. In P. A. Burrough, A. U. Frank (Eds.), *Geographic objects with indeterminate boundaries*, p. 171-187. London, Taylor & Francis.
- Degenne P., Lo Seen D. (2016). Ocelet: Simulating processes of landscape changes using interaction graphs. *SoftwareX*, vol. 5, p. 89–95.
- Del Mondo G. (2011). *Un modèle de graphe spatio-temporel pour représenter l'évolution d'entités géographiques*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Bretagne occidentale-Brest.
- Del Mondo G., Stell J. G., Claramunt C., Thibaud R. (2010). A graph model for spatio-temporal evolution. *Journal of Universal Computer Science*, vol. 16, p. 1452–1477.
- Egenhofer M. J., Al-Taha K. K. (1992). Reasoning about gradual changes of topological relationships. In *Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space*, p. 196–219.
- Guttman A. (1984). R-trees: A dynamic index structure for spatial searching. In *Proceedings of the 1984 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, p. 47–57. New York, NY, USA, ACM.
- Guyet T., Moinard Y. (2014). Programmation par ensembles réponses pour simuler l'assolement d'un paysage. In *Actes de la conférence RFIA 2014, Rouen, France*.

- Hornsby K., Egenhofer M. J. (2002). Modeling moving objects over multiple granularities. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, vol. 36, n° 1-2, p. 177–194.
- Jiang B., Claramunt C. (2004). Topological analysis of urban street networks. *Environment and Planning B: Planning and design*, vol. 31, n° 1, p. 151–162.
- Khiali L., Ienco D., Teisseire M. (2018). Object-oriented satellite image time series analysis using a graph-based representation. *Ecological informatics*, vol. 43, p. 52–64.
- Langran G., Chrisman N. R. (1988). A framework for temporal geographic information. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 25, n° 3, p. 1–14.
- Lavigne C., Klein E. K., Mari J.-F., Le Ber F., Adamczyk K., Monod H. *et al.* (2008). How do genetically modified (GM) crops contribute to background levels of GM pollen in an agricultural landscape? *Journal of Applied Ecology*, vol. 45, n° 4, p. 1104–1113.
- Levasseur F., Martin P., Bouty C., Barbottin A., Bretagnolle V., Théron O. *et al.* (2016). RPG Explorer: A new tool to ease the analysis of agricultural landscape dynamics with the Land Parcel Identification System. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 127, p. 541–552.
- Peuquet D. J., Wentz E. (1994). An approach for time-based analysis of spatiotemporal data. *Unknown Journal*, p. 489–504.
- Poggi S., Papaix J., Lavigne C., Angevin F., Le Ber F., Parisey N. *et al.* (2018). Issues and challenges in landscape models for agriculture: from the representation of agroecosystems to the design of management strategies. *Landscape Ecology*, vol. 33, n° 10, p. 1679–1690.
- Randell D. A., Cui Z., Cohn A. G. (1992). A Spatial Logic based on Regions and Connection. In *Proceedings 3rd international conference on knowledge representation and reasoning*.
- Sriti M., Thibaud R., Claramunt C. (2005). A fuzzy identity-based temporal gis for the analysis of geomorphometry changes. In *Journal on data semantics iii*, p. 81–99.
- Worboys M. F. (1994). A unified model for spatial and temporal information. *The Computer Journal*, vol. 37, n° 1, p. 26–34.