

PREMIERS PAS VERS UNE PROPOSITION DE SÉMIOLOGIE GRAPHIQUE ANIMÉE

Un outil d'expérimentation

par Claire Cunty

Université Lumière-Lyon2 – Faculté GHHAT
5 avenue Pierre-Mendès France 69 500 Bron
UMR Environnement, ville, société
claire.cunty@univ-lyon2.fr

Antonine Ribardière

Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne – UFR de Géographie UMR Prodig
antonine.ribardiere@univ-paris1.fr

Annabelle Mas

Université d'Orléans – Département de Géographie Laboratoire CEDETE
annabelle.mas@univ-orleans.fr

Liliane Lizzi

UMR Géographie-cités
liliane.lizzi@parisgeo.cnrs.fr

Nicolas Lambert,

UMS RIATE
nicolas.lambert@ums-riate.fr

Maher Ben Rebah

UMS RIATE
benrebah77@yahoo.fr

Les possibilités d'animation sont l'occasion d'un renouvellement des modes de conception cartographique et, en particulier, de la représentation des changements spatio-temporels. Pour avancer dans la formalisation d'une sémiologie graphique animée, nous proposons ici une démarche pragmatique, qui vise à expérimenter différentes alternatives pour en apprécier l'efficacité visuelle. L'outil présenté est accessible sur le site Web de Cartomouv¹, groupe de recherche sur la « cartographie du changement, cartographie en mouvement ».

L'animation des figurés cartographiques offre la possibilité d'un renouvellement de la représentation des changements spatio-temporels. Son usage se diffuse dans la production cartographique et fait l'objet de travaux théoriques dès les années 90, avec les premiers énoncés de « variables d'animation » (DiBiase et al., 1992 ; Peterson, 1994 ; MacEachren, 1995). Les possibilités d'animation sont désormais intégrées dans les propositions récentes relatives aux représentations spatio-temporelles des données (Cauvin et al., 2008).

De nombreux articles (par ex. Josselin et Fabrikant, 2003) détaillent la réalisation d'une ou plusieurs cartes animées et des choix faits pour représenter tel ou tel phénomène, mais aucune pratique sémiologique ne semble établie pour guider cette production. Dans ces réalisations, l'approche pragmatique a bien souvent précédé la théorie. L'expérimentation systématique des différentes possibilités graphiques nous a semblé un premier pas nécessaire pour avancer dans la formulation d'une telle pratique.

¹ <http://www.cartomouv.parisgeo.cnrs.fr>
<http://www.cartomouv.parisgeo.cnrs.fr/index.php?page=labo>

Toutefois, tester et apprécier l'efficacité des modes de représentations graphiques pour représenter une information spatio-temporelle à partir de cas réels constitue une vaste entreprise : l'ambition de l'outil présenté est plus modeste. Différents choix graphiques sont appliqués à une, voire deux unités géographiques. Les quelque 200 prototypes ainsi réalisés sont donc moins complexes que les cartes animées à proprement parler, qui comptent quant à elles, un grand nombre d'unités géographiques. Cette simplification de l'information n'est pas anodine et borne, dans une certaine mesure, la portée de l'expérimentation.

La première partie de cette communication consistera ainsi à définir et examiner les propriétés de la cartographie du changement en mouvement, c'est-à-dire la donnée (l'information spatio-temporelle), le temps (support de la représentation) et les variables visuelles dans une image animée. La seconde partie sera consacrée à la présentation de l'outil, accessible sur le site Web de Cartomouv ; l'ensemble des prérequis et du cheminement est décrit pas à pas. Pour finir, nous montrerons, à parti d'un exemple, comment l'examen comparé d'une série de prototypes permet de tester la pertinence et l'efficacité des différents modes de représentation proposés par l'outil.

1 Cartes du changement en mouvement : les composantes de l'image cartographique

Les cartes animées représentant des changements spatio-temporels constituent des objets complexes à plusieurs titres. Cette complexité peut être appréciée relativement aux objets cartographiques familiers que sont les cartes statiques : elle relève tant de l'information représentée (multidimensionnelle), que du support de visualisation (introduction du temps), ou encore de la représentation elle-même, dans laquelle les figurés cartographiques différencient non seulement les caractéristiques des unités géographiques entre elles, mais également les états successifs de chaque unité.

L'outil d'expérimentation que nous présentons dans cette communication provient d'un effort de décomposition de cette complexité : chaque prototype teste l'efficacité d'un mode de représentation cartographique, pour exprimer l'évolution des caractéristiques d'une unité géographique spécifique.

1.1 L'information spatio-temporelle, une information multidimensionnelle

La formalisation de l'information spatio-temporelle que nous proposons ici a été construite à partir d'un exemple simple, à savoir celui de l'évolution dans le temps d'un seul attribut (A) (fig.1).

1.1.1 Distribution spatiale, séquences d'évolution

Cet attribut est classiquement de nature sémantique et peut renseigner par exemple sur le poids démographique des unités géographiques. À chaque date d'enregistrement (lecture colonne par colonne du tableau, fig. 1), l'information correspond alors à une distribution statistique. Portée sur une carte, elle permet d'apprécier la distribution spatiale des différentes modalités, révélant ainsi les structures spatiales du phénomène observé, au moment de l'enregistrement. L'attribut peut également être de nature géographique, l'information portant alors sur la localisation ou la forme des unités géographiques elles-mêmes. À chaque date, la carte statique prend par exemple la forme d'un semis de points dans l'espace, dont on apprécie la régularité ou, au contraire, l'irrégularité, au moment de l'enregistrement.

Dans les deux cas (sémantique ou géographique), la carte statique permet deux niveaux de lecture : à un niveau de détail, on lit la modalité qui caractérise chaque unité géographique ; à un niveau global, on apprécie les structures spatiales telles qu'elles se déploient dans l'espace de la carte.

L'animation autorise la représentation de l'information aux différentes dates d'enregistrement, dans un même objet cartographique. La mise en mouvement concerne les deux niveaux de lecture de la carte : à un niveau global, la carte cherche à restituer l'évolution des structures spatiales ; à un niveau de détail, la carte restitue l'évolution des modalités qui caractérisent une unité géographique donnée. On se propose de nommer séquence cette succession d'états pour une unité géographique.

En s'appuyant sur la formalisation de l'information telle que proposée dans la figure 1, on peut dire que l'évolution des structures spatiales correspond à la mise en série des distributions statistiques ou spatiales, autrement dit de colonnes du tableau. La représentation des séquences correspond, quant à elle, à une lecture du tableau ligne par ligne.

La complexité de l'image cartographique animée provient de la représentation simultanée des

colonnes et des lignes du tableau – autrement dit, de l'évolution des distributions statistiques et spatiales et des séquences. Le changement affecte simultanément les deux niveaux de lecture, global et de détail. Nous proposons ici de les différencier, pour se focaliser sur l'analyse des séquences.

1.1.2 Séquences temporelles et séquences spatio-temporelles

La nature des séquences varie selon le type d'attribut considéré. Lorsqu'il s'agit d'un attribut sémantique, les séquences sont de nature temporelle : seule la composante thématique des unités géographiques est affectée par le changement tandis que leur localisation reste stable. Dans une carte animée comme dans une carte statique, la dimension spatiale de l'information repose sur le positionnement relatif dans le plan des unités géographiques. Considérant chaque unité géographique de manière isolée, on peut dire que les séquences perdent leur dimension spatiale. Lorsqu'il s'agit d'un attribut géographique, les séquences sont non seulement de nature temporelle mais comportent également une dimension spatiale : c'est la localisation des unités géographiques qui est affectée par le changement. Considérées une à une, les séquences conservent une dimension spatiale. L'outil d'expérimentation présenté ici porte sur la représentation des séquences, temporelles et spatio-temporelles

1.2 Le temps, support de la représentation du changement

Le plan constitue le support de la représentation cartographique : c'est par l'inscription des unités géographiques dans le plan que la carte exprime la dimension spatiale du phénomène observé. Ce support est loin d'être neutre : au contraire, en restituant par un jeu d'échelle le positionnement relatif des unités géographiques sur le terrain, les deux dimensions du plan constituent un élément essentiel de l'apport cognitif de la carte. Si l'interprétation des voisinages, des proximités et des distances a du sens, c'est bien parce que l'inscription des unités géographiques dans le plan correspond au positionnement géographique des unités.

L'animation introduit le temps comme un deuxième support de la représentation cartographique. Loin d'être neutre, ce deuxième support participe tout autant que le plan à l'intelligibilité de l'information représentée. C'est la succession dans le temps des modalités, suivant un ordre chronologique et une durée, qui permet de caractériser les séquences. On apprécie ainsi les rythmes du changement, plus ou moins rapides, en rapportant l'ampleur du changement à la durée de sa représentation. Cette combi-

naison entre temps de l'animation et ampleur du changement est désignée classiquement dans la littérature par le taux de changement (DiBiase et al., 1992).

Afin que le temps de l'animation restitue les rythmes du changement qui caractérisent chaque séquence, il est essentiel que le temps de l'animation soit proportionnel au temps de l'observation du phénomène – par un jeu d'échelle semblable à celui qui relie le plan de la carte à l'espace géographique.

1.3 Apprécier l'efficacité des variables visuelles dans une image animée

Pour produire une carte statique comme pour produire une carte animée, le choix d'une variable visuelle repose en grande partie sur l'analyse de l'information à communiquer. Dans les cas où le changement affecte la localisation des unités géographiques, c'est la position des unités géographiques dans le plan qui exprime l'information (on retrouve ici les dimensions du plan énoncées par Bertin, 1967). Les variables visuelles ne sont pas mobilisées en tant que telles pour exprimer le changement. En revanche, on retrouve ces variables visuelles dans la représentation de l'évolution dans le temps d'un attribut sémantique.

L'animation des figurés cartographiques (opposée à une représentation statique) ne permet pas de présager une altération des capacités des variables visuelles à transcrire l'ordre, les rapports de quantité ou encore la différence/similitude entre les modalités. La représentation peut donc s'effectuer selon les mêmes règles pour une carte statique et animée – on renvoie ici aux règles établies par J. Bertin voilà une quarantaine d'années. C'est selon ces règles que l'outil d'expérimentation a été construit.

Toutefois, rien n'indique que l'efficacité des variables visuelles soit identique lorsqu'elles sont utilisées pour construire des figurés statiques ou animés. En particulier, apprécier la longueur d'une variable visuelle – autrement dit sa capacité à différencier les modalités d'un attribut – se révèle une tâche complexe lorsqu'on l'applique à des figurés animés. La variable visuelle doit exprimer les changements d'états qui constituent la séquence et, à un autre niveau, les changements qui affectent la structure spatiale de l'ensemble.

En se focalisant sur la représentation graphique des séquences, nous nous concentrons sur une dimension de l'efficacité des variables visuelles appliquées à des cartes animées : leurs capacités à exprimer le changement qui affecte une unité spatiale par-

ticulière. Nous nous affranchissons momentanément de la représentation de la structure spatiale d'ensemble et des changements qui peuvent l'affecter.

2 Un outil de visualisation de séquences animées

Pour visualiser les séquences, nous avons créé un outil, disponible en ligne, qui propose plus de 200 prototypes de séquences. Un prototype est une représentation graphique animée correspondant à un certain type d'information transcrit selon un certain mode de représentation. À travers ces prototypes, on cherche à apprécier la capacité de l'animation à traduire les variations dans le temps des attributs (sémantiques et/ou spatiaux), mais aussi à retranscrire la dimension strictement temporelle du changement (rythme, taux de changement). Ces prototypes sont construits pour comparer l'efficacité de différents modes de représentation, déclinés suivant plusieurs options (rendu saccadé ou fluide ; mémoire visuelle des situations antérieures ou non). L'utilisateur accède aux prototypes via une interface de sélection qui l'amène à définir d'une part les caractéristiques des données à représenter et d'autre part les modes de représentation.

2.1 Préalable 1 : définir les caractéristiques de l'information à représenter

La partie supérieure de l'interface de sélection (fig. 3) permet à l'utilisateur de définir l'information à représenter. Tout d'abord, l'utilisateur est invité à identifier l'implantation des unités spatiales. J. Bertin a effectivement montré comment la longueur et l'efficacité d'une variable visuelle variait en fonction de l'implantation du figuré : il s'agit ici de tester ces différences d'efficacité dans une représentation animée (Bertin, 1967).

Ensuite, l'utilisateur doit préciser la dimension temporelle de l'information à représenter.

Les animations que nous proposons représentent l'état d'une unité spatiale, enregistré à différentes dates. Nous cherchons à apprécier comment les aspects temporels de l'évolution sont perçus, en terme de rythme notamment. Il convient alors de différencier les cas où les enregistrements ont été effectués régulièrement, des cas où ils ont été effectués selon des pas de temps irréguliers (fig. 2).

Dans un temps d'observation régulier, la durée qui sépare la date t_0 et la date t_1 est identique à la durée qui sépare la date t_1 et la date t_2 . À l'inverse, dans un temps d'observation irrégulier la durée entre les dates t_0 et t_1 est trois fois plus longue que la durée

entre les dates t_1 et t_2 . Ainsi le taux de changement (rapport entre l'ampleur du changement et la durée) restitue ces différentes temporalités d'observation.

Dans l'outil présenté, ni l'ordre chronologique des états dans la séquence, ni la proportionnalité entre le temps observé et le temps représenté, ne peuvent être modifiés. Il s'agit en effet de deux éléments que nous avons identifiés comme essentiels pour la représentation de la dimension temporelle de l'information.

Enfin, l'utilisateur définit la nature de l'attribut représenté et du changement représenté. À partir notamment des notions présentées par Cheylan, nous distinguons trois types de changements au cours du temps : géométrique (variation de forme et/ou de position), sémantique et d'identité (création, disparition, découpage ou union d'unités géographiques) (Cheylan, 2007). Ces types de changements sont présentés dans la figure 3.

2.2 Préalable 2 : définir les caractéristiques des modes de représentation

La partie inférieure de l'interface de sélection permet à l'utilisateur de définir les paramètres des modes de représentation : continue/discontinue, mémoire visuelle de l'état antérieur.

2.2.1 Représentation continue ou représentation discontinue ?

La distinction entre représentation discontinue et continue se rapproche de l'opposition entre les animations « image par image » et les animations « par objet » (Peterson, 1994). Dans le premier cas (image par image), la construction de l'animation se fait comme un diaporama : chaque image affichée correspond à un état connu et enregistré. Dans le second cas (par objet), l'animation repose sur des images-clés et l'utilisation de techniques de morphing (des formes ou des couleurs) qui génèrent les étapes intermédiaires par interpolation linéaire simple pour un rendu visuel fluide (Cauvin, 2007). Ces deux options ne renvoient pas uniquement à des choix esthétiques : au contraire, elles correspondent aux objectifs de la carte, qui est de souligner soit les étapes, soit les évolutions.

2.2.2 Conserver la trace de l'étape précédente ?

On propose à l'utilisateur plusieurs solutions graphiques permettant de retracer l'état de l'unité géographique à la situation précédente. Cette proposition se nourrit du constat formulé par Cheylan sur l'intérêt d'une « rémanence visuelle » pour interpréter la situation présente : il serait ainsi nécessaire « de trouver des méthodes de symbolisation qui assistent,

par une persistance explicite, la reconstruction mentale du processus, qui explicitent la trace connue des états antérieurs (respectivement postérieurs) sans troubler trop violemment la perception de l'état courant. On peut penser ici à une symbolisation renforcée mettant en exergue l'état affiché à chaque instant de la simulation du processus, accompagnée d'une symbolisation plus ténue des états antérieurs (grisé, traits fins, teintes atténuées...) » (Cheylan, 2007).

Trois représentations possibles sont proposées à l'utilisateur : la succession, l'empreinte et la trace (fig. 4). L'expérimentation de ces possibilités graphiques est d'autant plus importante qu'elles restent peu familières aux cartographes.

3 Exemple de tests sur un ensemble de prototypes

Nous présentons ici un exemple d'utilisation de notre outil pour tester le rendu et l'efficacité des modes de représentation graphique animés, pour exprimer une information de même nature. En effet tout l'intérêt de l'outil réside dans la comparaison de différentes solutions graphiques pour exprimer une même information. Les paramètres des prototypes sont donc les mêmes relativement à l'implantation de l'unité spatiale (ici zonale), au type de changement (ici un changement sémantique de différence). La variable visuelle couleur, identifiée par Bertin comme la plus sélective, est ici utilisée pour traduire une information qualitative nominale (Bertin, 1967). On se concentre sur la différence de perception des séquences en fonction du type de représentation (continue ou discontinue). On apprécie les rendus selon le type d'effet graphique : succession (A), puis empreinte (B). On regarde ensuite la perception du changement de rythme en comparant temps d'enregistrement régulier et irrégulier (C).

3.1 Groupe de séquences A : une unité spatiale en implantation zonale, un changement sémantique, un temps d'enregistrement régulier, succession : comparaison représentation discontinue et continue

Lorsque la représentation est discontinue (fig. 5), c'est-à-dire construite sans interpolation, l'animation est simple et lisible. Cette solution semble efficace si l'objectif est que le lecteur identifie et mémorise chaque état. Lorsque la représentation est continue, c'est-à-dire que les états intermédiaires aux états connus sont simulés par interpolation graphique linéaire, l'animation est naturellement plus fluide, mais plus complexe. Dans la séquence 2 (fig. 6), les trois étapes sont représentées par des couleurs

« pures » et malgré l'interpolation les trois états connus restent facilement identifiables. En effet les couleurs intermédiaires créées par interpolation correspondent à des teintes « salies » identifiées comme états de « transition ». On peut faire l'hypothèse que l'utilisation de couleurs complexes pour représenter les différents états connus rendrait moins perceptible l'identification de ceux-ci.

3.2 Groupe de séquences B : une unité spatiale en implantation zonale, un changement sémantique, un temps d'enregistrement régulier, effet empreinte : comparaison représentation discontinue et continue

Dans le cas d'un changement sémantique portant sur la différence traduite par la variable visuelle couleur, l'effet trace est irréalisable. En effet, l'unité géographique ne change pas de position et la représentation des tous les états intermédiaires aboutirait à une superposition graphique invisible. Il est permis en revanche pour créer la « rémanence visuelle » d'utiliser l'effet d'empreinte en jouant sur la variation de la couleur du contour. Ainsi les changements d'états sont traduits par le changement de la couleur du fond, et l'état antérieur ($t-1$) est représenté à partir de t par la couleur du contour qui reste la même jusqu'au changement d'état suivant ($t+1$).

En représentation discontinue, la combinaison contour-fond est lisible, l'identification état t / état $t-1$ est possible. On renforce donc la possibilité de comparaison entre états et l'appréciation de l'évolution (fig. 7). Lorsque la représentation est continue, l'interpolation porte seulement sur la couleur du fond, il n'y a pas d'interpolation de la couleur du contour (fig. 8).

Sans effet graphique (succession, groupe de séquences A), nous avons noté l'efficacité de la « pureté » des couleurs pour repérer les états connus. Cette efficacité est amoindrie par l'introduction d'une deuxième couleur (celle du contour), qui vient complexifier l'impression visuelle d'ensemble. L'identification des états connus est rendue plus difficile par l'introduction de l'effet d'empreinte.

On peut donc conclure des comparaisons des séquences A et B que l'utilisation de la variable visuelle couleur pour représenter des variations sémantiques qualitatives en animation doit être utilisée en se limitant à des couleurs pures, l'interpolation créant des couleurs « salies » identifiées comme intermédiaires. En revanche l'œil ne semble pas capable de saisir les différences de couleurs fond/contour lorsque ces teintes salies sont créées par interpolation.

3.3 Groupe de séquences C : une unité spatiale en implantation zonale, un changement sémantique, un temps d'enregistrement irrégulier, succession : comparaison représentation discontinue et continue.

Lorsque la représentation est discontinue, les variations de vitesse dans le changement des couleurs se perçoivent facilement (temps long où la couleur est stable, puis changement rapide) (fig. 9).

Lorsque la représentation est continue, les variations de vitesse sont difficilement perçues du fait du changement de couleur ininterrompu produit par l'interpolation (fig. 10).

Au final, l'étude des séquences A, B et C semble indiquer que lorsqu'un changement sémantique est représenté par de la couleur, l'interpolation graphique des couleurs (présentation continue), même si elle donne un rendu plus fluide, a tendance à « brouiller » la perception des états connus et des taux de changement.

Conclusion et perspectives

Au total, l'outil compte plus de 200 prototypes, correspondant à la combinaison des différents critères qui caractérisent une séquence - définie comme la succession des états qui affectent une unité géographique. Chaque prototype a en effet été conçu comme une brique élémentaire, qui devra être multipliée ou combinée pour former l'image cartogra-

phique finale. Cette démarche empirique permet d'avancer dans l'évaluation de l'efficacité visuelle des différentes possibilités d'animation des figurés. Pour aller plus loin, l'outil gagnerait à être complété dans deux directions au moins. Un nouveau paramètre, permettant de jouer sur la durée de l'animation, pourrait être ajouté aux critères définissant le temps de la représentation. Le taux de changement pourrait ainsi être adapté à l'amplitude de l'évolution - tout comme l'étendue d'une montée de valeur où l'échelle de proportionnalité des figurés peut être adaptée pour mieux transcrire les rapports entre les données. Il conviendrait également d'intégrer à l'outil des paramètres permettant de tester les effets de l'interactivité, sur la compréhension et la mémorisation des séquences.

Une prochaine étape de l'expérimentation est d'observer l'efficacité visuelle de l'animation des figurés dans une image complexe, exprimant l'évolution des séquences mais aussi l'évolution des distributions spatiales. L'efficacité des modes de représentation graphique pour exprimer le changement pourra ainsi être appréciée à deux niveaux : celui des séquences et celui des structures spatiales. Cette démarche devrait permettre d'énoncer un certain nombre de règles sémiologiques pour la représentation de phénomènes spatio-temporels. Aux règles classiques, associant à la nature de l'information, un figuré cartographique, il convient en effet d'ajouter de nouvelles balises, mettant en relation la dimension temporelle du changement à représenter et les possibilités d'animation des figurés.

Bibliographie

Bertin J., 1967, *Sémiologie graphique*, Paris, Mouton/Gauthier-Villars, 431 p.

Cauvin C., Escobar F et Serradj A., 2008, *Cartographie thématique 5, des voies nouvelles à explorer*, Paris, Hermès, Coll. Traité IGAT, série Aspects fondamentaux de l'analyse spatiale, 320 p.

Cheyland J.P., 2007, « Les processus spatio-temporels : quelques notions et concepts préalables à leur représentation », *Mappemonde*, n° 87 (2007.3). <http://mappemonde.mgm.fr/num15/articles/art07303.html>

DiBiase D, MacEachren A. M., Krygier J. B., Reeves C., 1992, « Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization », *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 19, n° 4, October 1992, p. 201-214.

Josselin D., Fabrikant S. (dir.), 2003, « Cartographie animée et interactive », *Revue internationale de géomatique*, vol. 13/1.

Peterson M.P., 1994, « Spatial Visualization through Cartographic Animation: Theory and Practice », *Proceedings of Geographic Information Systems / Land Information Systems GIS/LIS 1994*, p. 250-258.

		Attribut A au temps t0	Attribut A au temps t1	...	Attribut A au temps tj	...	Attribut A au temps tp	
Unités géographiques	UG1	modalité UG1, t0	modalité UG1, t1		modalité UG1, tj		modalité UG1, tp	<i>séquence</i>
	...							
	UGi	modalité UGi, t0			modalité UGi, tj			
	...							
	UGn	modalité UGn, t0					modalité UGn, tp	
		<i>distribution statistique et/ou spatiale</i>						

Figure 1 : Formalisation de l'information spatio-temporelle

Temps (données)

régulier : Si les états successifs sont enregistrés à un intervalle de temps identique sur la totalité de la période couverte, le temps est dit régulier (suivi hebdomadaire, mensuel ou trimestriel, par exemple).



irrégulier : Si les enregistrements se font au moment des changements, avec un intervalle de temps variable sur la période couverte, alors le temps des données est dit irrégulier (à chaque événement, de crues, par exemple).



Figure 2 : Temps d'observation régulier, temps d'observation irrégulier

Objet du changement

Les changements peuvent affecter l'une des trois composantes génériques des objets géographiques : la géométrie, la sémantique et l'identité.

- **Géométrie** : le changement porte sur la forme de l'objet (les coordonnées X,Y des points qui définissent l'objet changent). Le changement géométrique se manifeste par la déformation et/ou le déplacement de l'objet dans l'espace. *NB* : On considère ici que la création et la disparition d'un objet n'affectent pas sa géométrie, mais son identité.

déformation : modification de la forme géométrique de l'objet géographique.

Ex : une nappe de pétrole sur l'eau.

déplacement : changement de localisation spatiale de l'objet géographique, qui peut prendre la forme d'une translation, d'une rotation. *Ex : le déplacement d'une armée.*

- **Sémantique** : le changement porte sur les attributs sémantiques qui décrivent l'objet géographique. Les relations entre les modalités des attributs, la différence, l'ordre et la proportion, sont classiquement traduites dans la cartographie statique par les variables visuelles (taille, valeur, grain, couleur, orientation, forme).

Relation de différence : les modalités d'une variable qualitative nominale entretiennent des relations de différence les unes par rapport aux autres.

Ex : utilisation du sol, branche d'activité, couleur politique d'un état. Les variables visuelles classiquement utilisées pour traduire la différence sont la forme, l'orientation et la couleur-teinte.

Relation d'ordre : les modalités d'une variable qualitative ordinale ou quantitative relative (données numériques, mesurées sur une échelle « d'intervalle ») entretiennent des relations d'ordre les unes par rapport aux autres.

Ex : la taille des entreprises (petite, moyen, grand), la part des personnes actives dans la population totale, les températures d'une station météo.

La variable visuelle classiquement utilisée pour traduire la différence est la valeur (en noir et blanc ou en intensité de couleur) ou éventuellement le grain (non utilisé ici).

Relation de proportion : les modalités d'une variable quantitative absolue (données numériques, mesurées sur une échelle « de rapport ») entretiennent des relations de proportionnalité les unes par rapport aux autres. Elles correspondent à des stocks.

Ex : le nombre d'habitants d'une ville.

La variable visuelle classiquement utilisée pour traduire la proportion est la taille.

- **Identité** : le changement porte sur l'identité de l'objet. L'identité permet de distinguer un objet de tout autre objet. Un changement d'identité peut porter sur l'existence même d'un objet (apparition/disparition) ou sur sa généalogie (objet issu d'une scission ou d'une fusion).

apparition : il s'agit d'un objet géographique qui n'existait pas auparavant et qui se crée (ou est créé).

disparition : il s'agit d'un objet géographique qui existait auparavant et qui n'existe plus.

scission : il s'agit d'un objet géographique qui est le résultat de la (sub)division spatiale d'un autre objet qui, auparavant, présentait une surface plus importante. L'opération de scission conduit donc à un objet dont la surface est plus petite.

ID change : Lors de la scission, on affecte de nouveaux identifiants aux objets géographiques.

Ex : Une parcelle est partagée, elle perd son numéro d'origine, et on numérote les nouvelles parcelles créées à partir du dernier numéro utilisé dans la section cadastrale

ID stable : Lors de la scission, on conserve l'identifiant pour l'objet qui aura la plus grande surface et on affecte de nouveaux identifiants aux objets géographiques plus petits. *Ex : La propriété de Pierre est divisée en deux, Pierre garde la plus grande des deux qui garde le même identifiant, l'autre est vendue.*

fusion : il s'agit d'un objet géographique qui est le résultat d'une agrégation spatiale (c'est-à-dire d'une association ou d'un assemblage géométrique) entre deux, voire plusieurs objets qui, auparavant, étaient distincts. L'opération de fusion conduit donc à un objet dont la surface est plus grande.

ID change : Lors de la fusion, on affecte de nouveaux identifiants aux objets géographiques.

ID stable : Lors de la fusion, on conserve l'identifiant de l'objet géographique qui aura la plus grande surface. *Ex : lors de la réunification de la République Fédérale d'Allemagne et de la République Démocratique Allemande, la conservation de la dénomination République Fédérale d'Allemagne (même si dans le langage courant on parle aujourd'hui plus simplement de l'Allemagne).*

Figure 3 : Définitions du changement dans l'outil d'expérimentation

« Effet graphique »:

Succession : aucun effet graphique n'est utilisé. C'est la simple succession des états qui est représentée.

Empreinte : on représente à l'instant $t+1$: la situation à l'instant $t+1$ et la situation à l'instant t (en grisé) pour garder une mémoire visuelle de la situation antérieure.

Trace : on représente à l'instant $t+1$, toutes les étapes intermédiaires entre la situation à l'instant t et la situation à l'instant $t+1$.

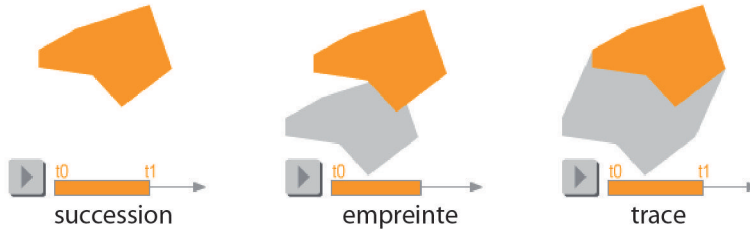


Figure 4 : Représentation de la situation antérieure : effets graphiques proposés dans l'outil d'expérimentation

Implantation			Temps	
Point	Ligne	Surface	Régulier	Irrégulier

Changement		
Géométrique	Sémantique	Identité
Déformation	Différence	Apparition
Déplacement trajectoire connue	Proportion	Disparition
Déplacement trajectoire inconnue	Ordre	Scission ID change
		Scission ID stable
		Fusion ID change
		Fusion ID stable

Décrivez le type de représentation que vous souhaitez :

Temps		Effet graphique		
Continu	Discontinu	Succession	Empreinte	Trace

Figure 5 : Animation image par image de la séquence 1 (A): un changement sémantique (différence) en implantation zonale, temps régulier, représentation discontinue, succession

Implantation			Temps	
Point	Ligne	Surface	Régulier	Irrégulier

Changement		
Géométrique	Sémantique	Identité
Déformation	Différence	Apparition
Déplacement trajectoire connue	Proportion	Disparition
Déplacement trajectoire inconnue	Ordre	Scission ID change
		Scission ID stable
		Fusion ID change
		Fusion ID stable

Décrivez le type de représentation que vous souhaitez :

Temps		Effet graphique		
Continu	Discontinu	Succession	Empreinte	Trace

Figure 6 : Animation par objet (et images intermédiaires créées par interpolation) de la séquence 2 (A): un changement sémantique (différence) en implantation zonale, temps régulier, représentation continue, succession

Implantation			Temps	
Point	Ligne	Surface	Régulier	Irrégulier

Changement		
Géométrique	Sémantique	Identité
Déformation	Différence	Apparition
Déplacement trajectoire connue	Proportion	Disparition
Déplacement trajectoire inconnue	Ordre	Scission ID change
		Scission ID stable
		Fusion ID change
		Fusion ID stable

Décrivez le type de représentation que vous souhaitez :

Temps		Effet graphique		
Continu	Discontinu	Succession	Empreinte	Trace

Figure 7 : Animation image par image de la séquence 1 (B): un changement sémantique (différence) en implantation zonale, temps régulier, représentation discontinue, effet empreinte

Implantation			Temps	
Point	Ligne	Surface	Régulier	Irrégulier

Changement		
Géométrique	Sémantique	Identité
Déformation	Différence	Apparition
Déplacement trajectoire connue	Proportion	Disparition
Déplacement trajectoire inconnue	Ordre	Scission ID change
		Scission ID stable
		Fusion ID change
		Fusion ID stable

Décrivez le type de représentation que vous souhaitez :

Temps		Effet graphique		
Continu	Discontinu	Succession	Empreinte	Trace

Figure 8 : Animation par objet (et images intermédiaires créées par interpolation) de la séquence 2 (B): un changement sémantique (différence) en implantation zonale, temps régulier, représentation continue, effet empreinte

Implantation			Temps	
Point	Ligne	Surface	Régulier	Irrégulier

Changement		
Géométrique	Sémantique	Identité
Déformation	Différence	Apparition
Déplacement trajectoire connue	Proportion	Disparition
Déplacement trajectoire inconnue	Ordre	Scission ID change
		Scission ID stable
		Fusion ID change
		Fusion ID stable

Décrivez le type de représentation que vous souhaitez :

Temps	Effet graphique			
Continu	Discontinu	Succession	Empreinte	Trace

Figure 9 : Animation image par image de la séquence 1 (C): un changement sémantique (différence) en implantation zonale, temps irrégulier, représentation discontinue, succession

Implantation			Temps	
Point	Ligne	Surface	Régulier	Irrégulier

Changement		
Géométrique	Sémantique	Identité
Déformation	Différence	Apparition
Déplacement trajectoire connue	Proportion	Disparition
Déplacement trajectoire inconnue	Ordre	Scission ID change
		Scission ID stable
		Fusion ID change
		Fusion ID stable

Décrivez le type de représentation que vous souhaitez :

Temps	Effet graphique			
Continu	Discontinu	Succession	Empreinte	Trace

Figure 10 : Animation par objet (et images intermédiaires créées par interpolation) de la séquence 2 (C): un changement sémantique (différence) en implantation zonale, temps irrégulier, représentation continue, succession