



**HAL**  
open science

# Geovisualisation des dynamiques cycliques d'événements spatio-temporels

Jacques Gautier, Paule-Annick Davoine, Claire Cuntty

► **To cite this version:**

Jacques Gautier, Paule-Annick Davoine, Claire Cuntty. Geovisualisation des dynamiques cycliques d'événements spatio-temporels. SAGEO 2016, Dec 2016, Nice, France. hal-01609164

**HAL Id: hal-01609164**

**<https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-01609164>**

Submitted on 3 Oct 2017

**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.

---

# Geovisualisation des dynamiques cycliques d'événements spatio-temporels

Jacques GAUTIER<sup>1</sup>, Paule-Annick DAVOINE<sup>2</sup>, Claire CUNTY<sup>3</sup>

1. Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Université Grenoble Alpes  
700 avenue centrale, 38401 Saint Martin-d'Hères, France  
Jacques.Gautier@imag.fr

2. Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Université Grenoble Alpes  
700 avenue centrale, 38401 Saint Martin-d'Hères, France  
Paule-Annick.Davoine@imag.fr

3. UMR EVS/IRG Lyon II  
5 avenue Pierre Mendès-France, 69500 Bron, France  
Claire.Cunty@Univ-Lyon2.fr

---

*RÉSUMÉ.* L'identification des événements cycliques, dans le cadre de l'analyse des données temporelles, s'effectue majoritairement par des analyses mathématiques, et ne prend en compte que la dimension temporelle. Notre ambition est de proposer une méthode d'analyse visuelle permettant d'identifier les comportements cycliques d'événements spatio-temporels, qui croiserait les dimensions temporelles et spatiales. Le principe consiste à intégrer, dans un environnement de géovisualisation multi-vues, un diagramme temporel, basé sur les concepts de la Time Coil et de la Time Wave, représentant de façon simultanée les aspects linéaires et cycliques du temps. La synchronisation de ce diagramme avec une représentation cartographique adaptée permet de caractériser la relation entre la localisation d'un événement cyclique et son cycle d'apparition.

*ABSTRACT.* The identification of cyclic events, as part of temporal data analysis, is mainly done through mathematical analysis, and takes only into account the temporal dimension of events. Our objective is to propose a visual analysis method allowing to identify cyclic spatio-temporal events, and which takes into account both temporal and spatial dimension. The idea is to integrate, into a multi-view geovisualization environment, a temporal diagram, based on Time Coil and Time Wave concepts, in order to represent the linear and cyclic aspects of time. The synchronization of the temporal diagram with a cartographic representation allows to identify the relationship between the location and the return-period of a cyclic event.

*MOTS-CLÉS :* ÉVÉNEMENTS SPATIO-TEMPORELS, ÉVÉNEMENTS CYCLIQUES, GEOVISUALISATION, ANALYSE VISUELLE, TIME COIL, RELATION ESPACE/PÉRIODE DE RETOUR

*KEYWORDS:* SPATIO-TEMPORAL EVENTS, CYCLIC EVENTS, GEOVISUALIZATION, VISUAL ANALYSIS, TIME COIL, SPACE/RETURN-PERIOD RELATIONSHIP

---

## 1. Introduction

Depuis plusieurs années, la recherche dans le domaine de la géovisualisation a développé des concepts de représentation des dynamiques spatio-temporelles. Plusieurs méthodes (Davoine *et al.*, 2015), qu'elles soient cartographiques ou faisant appel aux technologies informatiques ont été proposées pour intégrer la dimension temporelle dans des outils de géovisualisation : collections de cartes, cartes animées, cartes interactives et dynamiques... Une méthode très utilisée est celle de l'approche multi-vues. Elle consiste à diviser l'interface de l'outil de géovisualisation en plusieurs fenêtres synchronisées, permettant notamment d'afficher l'organisation spatiale des événements dans une carte, et leur distribution temporelle dans un diagramme (Kraak, 2010 ; Moïsuc *et al.*, 2005).

Si cette technique permet de représenter aisément les dates d'occurrence des événements ainsi que leur durée, ces interfaces ne permettent pas de visualiser le caractère cyclique de certains types d'événements. L'étude des récurrences cycliques de ces événements est pourtant essentielle pour l'établissement de modèles de prédiction de certains phénomènes, comme par exemple dans la détermination des aléas dans le domaine des risques naturels. L'étude des comportements cycliques dans les données caractérisant des événements passés est majoritairement effectuée en utilisant des méthodes d'analyses mathématiques, comme par exemple l'analyse harmonique, issue des transformées de Fourier. Cependant, ces analyses ne prennent en compte que la dimension temporelle des événements, sans s'intéresser à leur dimension spatiale.

Notre but est ici de fournir une méthode d'analyse visuelle de ces cycles de retour d'événements spatio-temporels qui croiserait les dimensions temporelles et spatiales. Pour cela, nous cherchons à visualiser les récurrences cycliques des événements spatio-temporels dans les outils de géovisualisation. Cette analyse visuelle pourrait venir compléter les analyses mathématiques utilisées dans l'étude des cycles de retour sur des données temporelles.

Nous présenterons dans un premier temps les temporalités que nous cherchons à mettre en avant dans les outils de géovisualisation, et l'intérêt de prendre en compte la dimension spatiale dans l'analyse des phénomènes cycliques. Puis nous présenterons les principales méthodes permettant l'intégration de la dimension temporelle dans les outils de géovisualisation. Nous montrerons les limites des diagrammes temporels utilisés pour la visualisation des événements cycliques, et les moyens d'y remédier grâce à l'intégration de diagrammes temporels intégrant les composantes linéaires et cycliques du temps, à l'instar des diagrammes *Time Coil* (Edsall et Peuquet, 1997) et *Time Wave* (Li, 2010). Enfin nous exposerons notre proposition, qui se présente sous la forme d'un outil de géovisualisation multi-vues, intégrant une extension des diagrammes temporels *Time Coil* et *Time Wave*, et une carte, synchronisée au diagramme temporel, permettant de visualiser la composante cyclique du temps dans la représentation cartographique au moyen d'une sémiologie graphique adaptée.

## 2. Visualisation d'événements spatio-temporels récurrents

### 2.1. Définitions : phénomène, événement et temporalités

Un phénomène spatio-temporel peut être considéré comme étant l'évolution dans le temps d'objets spatiaux pérennes, ou comme une entité spatio-temporelle inscrite dans le temps et l'espace (Haddad 2009, Mathian et Sanders, 2014 (d'après Galton 2004)). En tant qu'entité spatio-temporelle distincte, il peut être représenté comme affectant des objets spatiaux pérennes (Mathian et Sanders, 2014 (d'après Grenon et Smith, 2004)), ou bien représenté seul, sans que les objets impactés soient pris en compte dans la modélisation du phénomène (Reitsma, 2004).

Dans notre proposition, nous nous plaçons dans une représentation des phénomènes spatio-temporels en tant qu'entités spatio-temporelles distinctes, dont les instances sont nommées "événements spatio-temporels". Nous représentons uniquement le phénomène, et non les objets spatiaux qu'il impacte.

Hewitt (1983), Allen (1983), DiBiase (DiBiase *et al.*, 1992) et MacEachren (1994) ont décrit six « temporalités » permettant de décrire la dimension temporelle d'un événement (Figure 1).

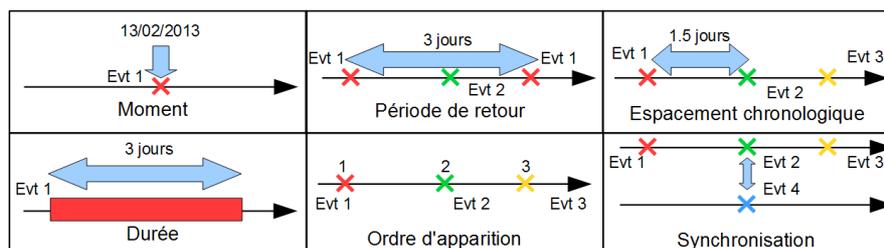


FIGURE 1. *Temporalités des événements (Hewitt, 1983 ; Allen, 1983 ; DiBiase et al., 1992 ; MacEachren, 1994)*

La notion de « période de retour » est ici ambiguë. Dans le domaine des risques, la période de retour est considérée comme l'écart de temps probable entre deux événements (Arnaud, 2009). Elle est différente de la fréquence qui est le nombre d'occurrence d'un événement durant une période donnée (Arnaud, 2009). La période de retour peut cependant être considérée comme la période temporelle entre la réapparition de deux instances d'un phénomène cyclique, soit l'inverse de la fréquence, au sens physique du terme, du phénomène. Visualiser la période de retour d'un événement revient donc à visualiser son caractère cyclique.

### 2.2. Analyse des événements récurrents : une analyse mathématique sur des données temporelles

L'étude des comportements cycliques dans les récurrences d'événements est très utilisée dans l'établissement de modèles de prédiction, comme par exemple dans le

domaine des risques naturels (Ouillon et al., 2008 ; Jones et al., 1999). Cette analyse s'effectue essentiellement par des méthodes mathématiques, comme les analyses harmoniques issues des transformées de Fourier (Lafon *et al.*, 2013). Or, l'exploration visuelle des données peut permettre de mettre en lumière certaines caractéristiques qui ne seraient pas directement décelables par une simple analyse mathématique (Tufte, 1983).

Cette analyse des événements passés est essentiellement effectuée selon une dimension temporelle. Par exemple, dans le cas de l'étude des données sismologiques, il est admis que la probabilité d'occurrence d'un séisme de magnitude donnée est fonction du lieu et de l'échelle d'observation (Ouillon *et al.*, 2008). Afin d'intégrer ce facteur spatial dans l'analyse des données, les zones étudiées sont découpées en secteurs selon un maillage de 10 à 100 km de côté. Une loi probabiliste locale est calculée dans chaque zone à partir des séries temporelles correspondantes (Ouillon *et al.*, 2008). Cette analyse reste donc uniquement effectuée selon une dimension temporelle, malgré la pré-sélection spatiale des données sismiques.

La visualisation des récurrences cycliques d'événements dans un outil de géovisualisation, pourrait être une solution complémentaire aux analyses mathématiques des données concernant les événements passés. Cette méthode permettrait en outre de croiser les dimensions temporelles et spatiales lors de l'analyse. Cependant, si des environnements de géovisualisation intègrent le temps et permettent actuellement de visualiser des temporalités comme le moment, la durée ou l'ordre d'apparition, les temporalités cycliques n'y sont que peu représentées.

### **3. Visualisation des récurrences d'événements dans les données spatio-temporelles**

#### **3.1. La représentation du temps dans les environnements de géovisualisation**

L'intégration de la dimension temporelle dans les outils de géovisualisation est basée sur quatre principales méthodes (Davoine et al., 2015) :

- les cartes animées ou dynamiques, où le déroulement du temps est représenté par l'animation de la carte ;
- les collections de cartes, où chaque carte représente la distribution spatiale de l'événement à une date spécifique ;
- le cube spatio-temporel proposé par la Time-Geography (Hägerstrand, 1970), où une troisième dimension spatiale représente la dimension temporelle, utilisé essentiellement pour représenter des problématiques de trajectoires spatio-temporelles ;
- l'approche multi-vues (Figure 2.a), qui consiste à associer, au sein d'un même environnement, différentes constructions visuelles synchronisées entre elles, chacune représentant une dimension de l'information géographique (spatiale, temporelle, thématique) (Kraak, 2010 ; Moïsuc *et al.*, 2005).

Dans cette approche, le temps est représenté par un graphique temporel, de type *timeline* ou *timewheel* (Edsall *et al.*, 1997), selon que le temps soit appréhendé de façon linéaire ou cyclique (Figures 3 et 4) ;

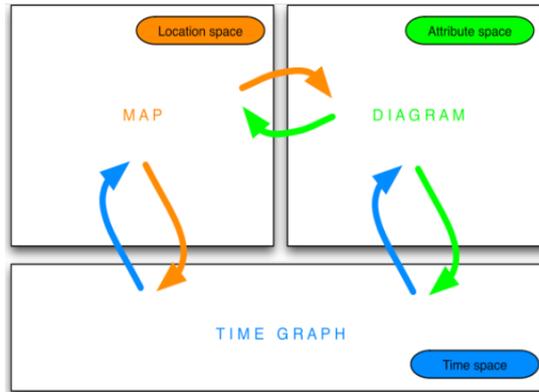


FIGURE 2. Intégration du temps dans un environnement de géovisualisation. Approche multi-vues(a) (Kraak, 2010), timeline (b) et timewheel (c)

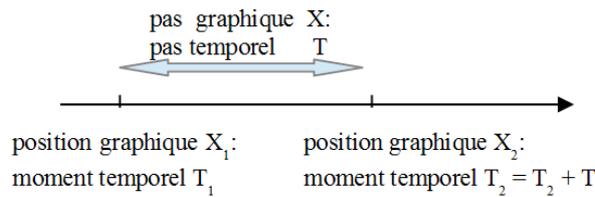


FIGURE 3. Diagramme de type timeline

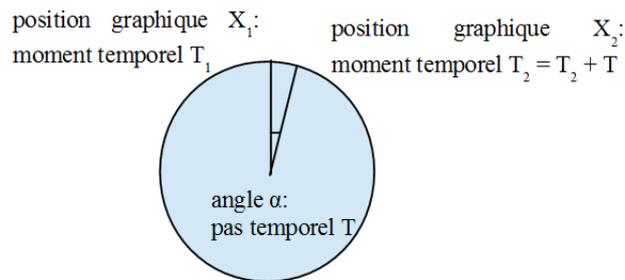


FIGURE 4. Diagramme de type timewheel

Les *timelines* (ligne de temps) et *timewheels* (roue du temps) sont généralement interactives, et permettent de modifier l'échelle temporelle d'observation, d'accéder à plusieurs granularités temporelles (jours, mois, années, ...), et de sélectionner une sous-section temporelle. Dans le cas d'une *timewheel*, le changement de l'échelle

temporelle se traduit par la modification de la période cyclique représentée par le cercle de la *timewheel* (par exemple le mois, ou la semaine ou la journée).

Des temporalités comme le moment, la durée, ou l'ordre d'apparition, sont visualisables directement sur les *timelines* et *timewheels*. Cependant, ces deux diagrammes ne permettent pas de visualiser directement le caractère cyclique d'une récurrence d'événements. Dans une *timeline* ou une *timewheel*, l'utilisateur doit identifier une distance régulière entre chaque objet graphique correspondant à une instance d'un type d'événement pour repérer une récurrence cyclique (Figure 5).

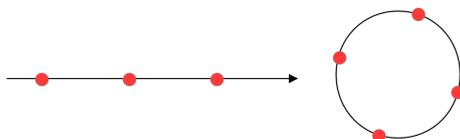


FIGURE 5. Récurrence cyclique d'événements dans une *timeline* et une *timewheel*

### 3.2. Visualisation des temporalités cycliques

Certains diagrammes temporels intègrent à la fois les aspects linéaires et cycliques du temps. Ces représentations mixtes permettent de visualiser le caractère cyclique d'une récurrence d'événements. Certains de ces diagrammes proviennent de la DataVisualization, ou de l'InfoVisualization, comme le *Cluster Calendar* proposé par Van Wijk (1999). D'autres ont été conçus pour être intégrés dans des environnements de géovisualisation, nous en présentons ici deux exemples.

Edsall et Peuquet (1997) ont proposé un diagramme, nommé *Time Coil*, s'appuyant sur la figure de la « bobine » (Figure 6), qui combine une *timeline* et une *timewheel*. Ce diagramme est composé d'une hélice effectuant des révolutions autour d'un axe central. L'axe de révolution de l'hélice représente le temps linéaire, tandis que chaque révolution de l'hélice représente une période cyclique. Dans la Figure 4, chaque révolution de l'hélice correspond à une période de 12 heures.

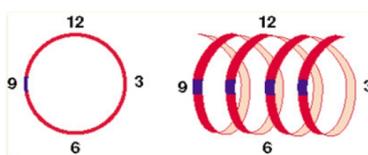


FIGURE 6. *Time Coil* (Edsall et Peuquet, 1997)

Li et Kraak (Li, 2010) ont proposé un diagramme similaire, appelé *TimeWave*, s'appuyant cette fois sur la figure de la vague (Figure 7), qui peut être vu comme une version « plane » de la *Time Coil* d'Edsall et Peuquet. Dans ce diagramme, le temps linéaire est représenté par un axe central, tandis que chaque « vague » correspond à une période cyclique.

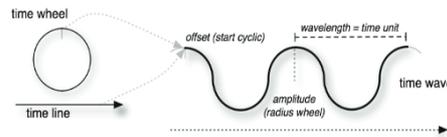


FIGURE 7. *Time Wave* (Li, 2010)

Dans ces diagrammes, une récurrence cyclique, quasi-cyclique, ou semi-cyclique d'événements peut être visualisée par un alignement, parallèle à l'axe central, d'objets graphiques représentant des événements. La période de retour de ces événements cycliques correspond à la durée représentée par une révolution de l'hélice (*Time Coil*) ou une vague (*Time Wave*). Nous appelons ici :

- 'comportement quasi-cyclique' une récurrence d'événements ayant une période de retour quasi-régulière (Figure 8) ;

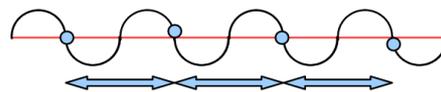


FIGURE 8. *Récurrence quasi-cyclique*

- 'comportement semi-cyclique' une récurrence d'événements ayant une période de retour régulière ou quasi-régulière, mais où l'événement n'apparaît pas forcément à chaque instance de la période de retour (Figure 9);

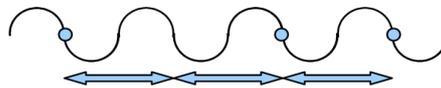


FIGURE 9. *Récurrence semi-cyclique*

Les valeurs pouvant être affectées à la période cyclique représentée par la structure de ces deux diagrammes sont pourtant limitées. Selon Hornsby et Egenhofer (2002), les périodes utilisées dans les représentations cycliques du temps sont le plus souvent basées sur les rythmes de la nature ou des activités humaines, et correspondent donc à des périodes usuelles comme les jours, les mois, les saisons, ... etc. Ainsi, les périodes cycliques représentées, par exemple dans la *Time Wave*, sont limitées à ces périodes usuelles. Par extension, les événements cycliques visualisables sont ceux dont la période de retour sera égale à ces périodes usuelles.

D'autre part, la visualisation d'une récurrence cyclique d'événements à travers ces diagrammes ne prend en compte que la dimension temporelle des événements représentés, même au sein d'un environnement de géovisualisation. Les possibles relations entre la dimension spatiale des événements et leur possible cyclicité ne sont pas visualisées.

## 4. Proposition

### 4.1. Objectif et approche méthodologique

Notre objectif est de fournir une méthode visuelle d'analyse des comportements cycliques des événements spatio-temporels, qui croiserait les dimensions temporelles et spatiales.

La méthode proposée est basée sur l'utilisation d'un environnement de géovisualisation multi-vues, et repose sur deux principes : d'une part la visualisation des récurrences cycliques, quasi-cycliques, semi-cycliques d'événements spatio-temporels au sein de la fenêtre temporelle ; d'autre part la gestion des interactions espace-temps afin de visualiser les relations entre cycles de retour et localisation spatiale des événements.

### 4.2. Représentation de la dimension temporelle

Dans la fenêtre temporelle, nous utilisons un diagramme hélicoïdal inspiré de la *Time Coil* d'Edsall et Peuquet (1997). Ce diagramme peut être affiché en trois dimensions à la manière de la *Time Coil*, ou dans une version "plane" en deux dimensions, semblable à la *Time Wave* (Li, 2010) comme le montre la Figure 10. L'étendue temporelle représentée par ce diagramme est modifiable de manière interactive par l'utilisateur.

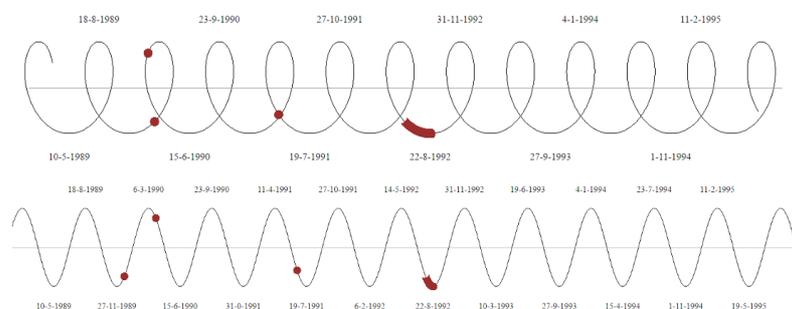


FIGURE 10. Diagramme hélicoïdal de la proposition, vu en 3D, puis dans une version plane ; les deux diagrammes représentent la même étendue temporelle (Données:coulées de lave du Piton de la Fournaise, Île de la Réunion, source OVPF)

La dimension temporelle des événements (moment d'apparition, durée) est représentée au travers d'objets graphiques. Ceux-ci peuvent être ponctuels dans le temps et représentés graphiquement par un point, ou étendus dans le temps et représentés graphiquement par un cylindre suivant la courbe de l'hélice. La couleur de l'élément graphique dépend de la classification appliquée aux événements

représentés. Des phénomènes naturels peuvent par exemple être classés selon leur intensité, ou leur type. Pour nos figures, nous avons représenté des événements d'une seule et même classe.

A l'instar des diagrammes *Time Coil* et *Time Wave*, ce diagramme est interactif et permet de modifier la période de temps cyclique représentée par une révolution de l'hélice. Cependant, les valeurs temporelles pouvant être affectées à la période de révolution sont étendues à toutes les valeurs possibles, y compris des valeurs non-calendaires (3 jours, 5 jours et 7 heures, ...etc).

En permettant une modification dynamique et graduelle de la composante cyclique du temps représentée, notre but est double :

- d'une part, permettre la visualisation de toute récurrence cyclique d'événements, quelle que soit la durée de sa période de retour ;
- d'autre part, faciliter une recherche visuelle de cycles de retour, en jouant sur la durée de la période de révolution de l'hélice ;

Lorsque la valeur de la période de révolution de l'hélice approche celle d'une période de retour d'un événement cyclique, on observe la formation d'un alignement des objets graphiques correspondant à ces événements (Figure 11). Les objets graphiques forment d'abord une hélice (ou une courbe sinusoïdale si le diagramme est représenté sur un même plan comme pour la *Time Wave*). Puis les objets s'alignent de plus en plus. Enfin l'alignement devient parallèle à l'axe central du diagramme lorsque la période de révolution de l'hélice est égale à celle de la période de retour. Dans la Figure 11, on représente sur un diagramme temporel une série d'événements fictifs. Ces événements sont classés en deux types A (rouges) et B (bleus). Plus on fait varier la période «  $P$  » de révolution de l'hélice vers la valeur de 45 jours, plus on observe l'alignement des objets rouges, correspondant aux événements A. Lorsque  $P$  est égale à 45 jours, les objets rouges sont alignés et parallèles à l'axe central. On observe donc une récurrence cyclique des événements de type A, avec une période de retour de 45 jours.

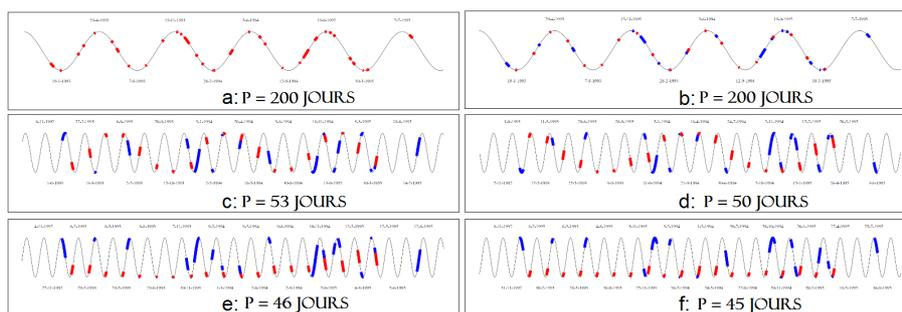


FIGURE 11. Recherche visuelle d'une récurrence cyclique par modification de la période de révolution  $P$  du diagramme hélicoïdal (Données fictives)

### 4.3. Représentation de la dimension spatiale

La fenêtre spatiale se compose d'une carte représentant l'emprise spatiale des événements représentés sur le diagramme hélicoïdal. La carte ne représente pas l'espace à un instant donné, comme par exemple dans une carte animée, mais l'ensemble des événements ayant lieu durant la période de temps couverte par le diagramme hélicoïdal (Figure 12).

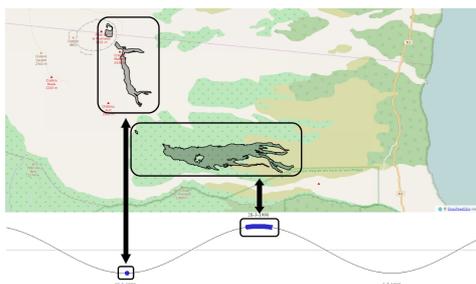


FIGURE 12. Représentation de la dimension spatiale des événements (Données: coulées de lave du Piton de la Fournaise, Île de la Réunion, source OVPF)

L'entité spatiale représentée sur la carte peut être un point, une ligne, un polygone. Dans notre exemple (Figure 12), nous représentons des coulées de lave par des objets polygonaux, correspondant à l'emprise spatiale de la coulée.

### 4.4. Relation Espace-temps

La fenêtre temporelle comporte, en dessous du diagramme hélicoïdal, une troisième frise temporelle, que nous appellerons « frise de couleur » (Figure 13).

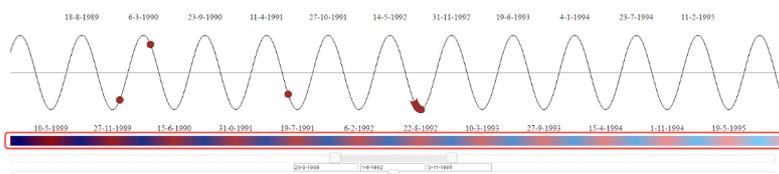


FIGURE 13. Frise de couleur (Données: coulées de lave du Piton de la Fournaise, Île de la Réunion, source OVPF)

Dans cette frise sont représentés les deux aspects du temps :

- le temps cyclique par l'alternance entre deux couleurs, ici le rouge et le bleu (Figure 14). La couleur bleue correspond à chaque sommet de l'hélice, la couleur rouge à leurs opposés par rapport à l'axe central. La couleur bleue correspond au début d'une période temporelle représentée par une

révolution du diagramme hélicoïdal, et la couleur rouge correspond au milieu de cette période ;

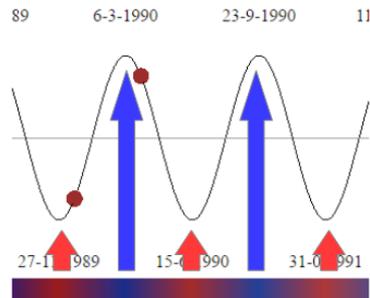


FIGURE 14. Relation frise de couleur/timeline hélicoïdale (Données: coulées de lave du Piton de la Fournaise, Île de la Réunion, source OVPF)

- le temps linéaire par un dégradé de la valeur des deux précédentes couleurs. Ici les dates les plus anciennes correspondent au rouge sombre et au bleu sombre, tandis que les dates les plus récentes correspondent au rouge clair et au bleu clair ;

La couleur de l'entité cartographiée, correspondant à un événement, dépend de la position de l'entité graphique correspondante sur le diagramme hélicoïdal. Par exemple, un événement apparaissant au début d'une période de révolution du diagramme hélicoïdal sera représenté par une entité graphique située en haut d'une boucle du diagramme temporel ; l'entité cartographique correspondante sera alors de couleur bleue (Figure 15);

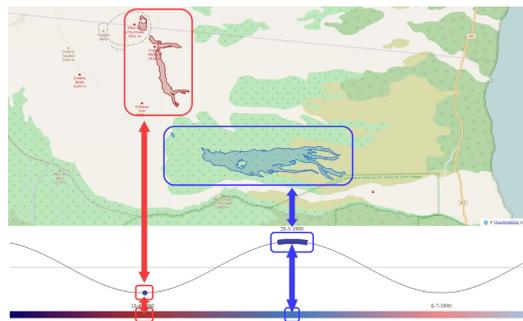
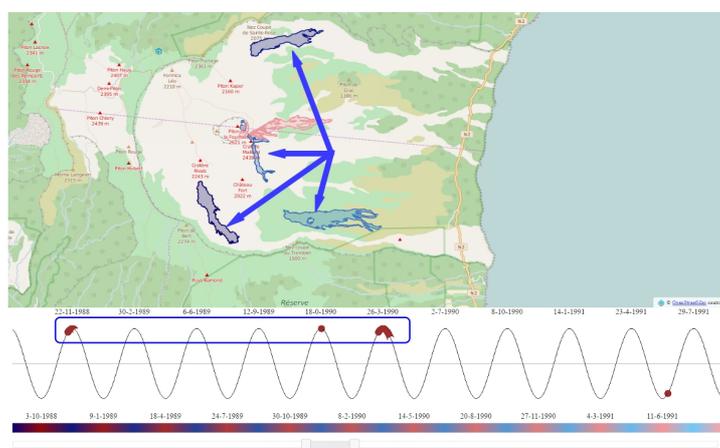


FIGURE 15. Relation espace/temps (Données: coulées de lave du Piton de la Fournaise, Île de la Réunion, source OVPF)

Une récurrence cyclique d'événements peut alors être visualisée directement dans la carte, un alignement d'événements sur le diagramme temporel correspondant à

l'affichage sur la carte d'objets de même couleur. Dans la Figure 16, trois entités cartographiques sont de couleur bleue, et correspondent à trois entités graphiques alignées sur le diagramme hélicoïdal. Ces entités sont séparées par quatre puis par une période de révolution du diagramme hélicoïdal, celle-ci étant égale à 98 jours. L'événement pourrait donc présenter à une récurrence semi-cyclique ayant une période de retour de 98 jours. Dans l'exemple de la Figure 16, une apparition semi-régulière de trois objets ne suffit pas pour déterminer le caractère cyclique des événements représentés. Cette figure a cependant pour but de présenter la méthode effectuée pour identifier une récurrence cyclique d'événements sur la carte.



*FIGURE 16. Identification de récurrences cycliques sur la carte (Données:coulées de lave du Piton de la Fournaise, Île de la Réunion, source OVPF)*

La modification de la période de révolution du diagramme hélicoïdal engendre la modification de l'aspect de la frise de couleur, et donc de la symbologie affectée aux entités de la carte. L'identification de cycles de retour par une recherche visuelle peut donc également être effectuée dans la fenêtre cartographique. Cette analyse visuelle sur la carte présente un intérêt supplémentaire dans la recherche de comportements cycliques localisés. En effet, un événement peut, dans le même temps, ne pas apparaître de façon cyclique à l'échelle d'une région, et présenter une régularité cyclique dans une zone plus restreinte.

De la même façon, un phénomène cyclique peut présenter des périodes de retour différentes selon sa région d'apparition. La modification de la période de révolution de l'hélice permet l'identification de ces récurrences cycliques localisées, lorsque des entités cartographiques, proches les unes des autres, prennent la même couleur sur la carte, tandis que les entités des autres zones de la carte prennent une autre couleur. Dans la Figure 17, les entités présentes dans le cadre bleu possèdent la même couleur lorsque la période de révolution du diagramme hélicoïdal est égale à 205 jours. Les événements correspondants (en bleu) dans le diagramme hélicoïdal sont

quasi alignés. Cette zone pourrait présenter une récurrence quasi-cyclique localisée de 205 jours. Comme dans la figure précédente, l'exemple de la Figure 17 ne permet pas de certifier l'existence d'une récurrence cyclique dans cette zone. Cette figure a pour but d'illustrer la méthode proposée.

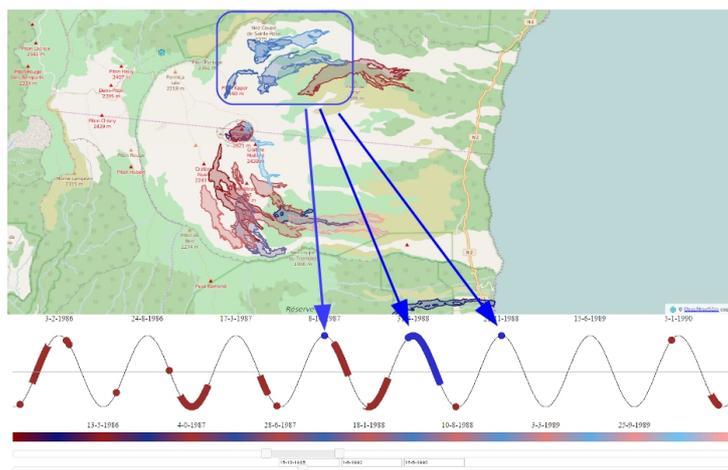


FIGURE 17. Identification de récurrences cycliques localisées sur la carte (Données:coulées de lave du Piton de la Fournaise, Île de la Réunion, source OVPF)

## 5. Conclusion

Nous avons proposé une méthode visuelle d'analyse des temporalités cycliques des événements spatio-temporels. Celle-ci est basée sur le concept d'un environnement de géovisualisation multi-vues intégrant :

- un diagramme temporel hélicoïdal, associant le temps linéaire et le temps cyclique, ce qui permet de visualiser directement les événements cycliques par un alignement des objets graphiques correspondants sur le diagramme temporel. La période de révolution du diagramme, représentant la composante cyclique du temps, peut être modifiée pour prendre toutes les valeurs possibles, y compris les valeurs non-calendaires. La modification dynamique et graduelle de cette période de révolution permet une recherche visuelle des cycles de retour des événements, à travers l'identification d'alignements d'objets ;
- une représentation de la composante cyclique du temps dans la carte, synchronisée avec celle du diagramme temporel. Ceci permet de visualiser directement les cycles de retour d'événements dans la carte, et autorise une recherche visuelle de des récurrences cycliques localisées.

Cette méthode d'analyse permet la mise en relation des dimensions temporelles et spatiales dans l'analyse des cycles de retour. Elle offre également une méthode visuelle complémentaire à l'analyse mathématique des cycles de retour dans les séries temporelles. Notre prochaine étape sera de définir un protocole expérimental afin d'appliquer notre proposition sur différents types de risques naturels tels que les inondations ou les avalanches, et de tester cette proposition sur un échantillon d'utilisateurs potentiels. Ces tests permettront de valider l'apport de notre méthode dans l'analyse des événements cycliques et d'apporter des améliorations à cette proposition.

### **Remerciements**

Cette recherche est soutenue par la région Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre de l'ARC 3 Environnement.

### **Bibliographie**

- Allen J.-F. (1983). Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communication of the ACM 1983*,
- Arnaud A., Davoine P.-A. (2009) Cartographie des temporalités dans le domaine des risques. *Comité Français de Cartographie, N°202, December 2009*
- Claramunt C., Thériault M. (1995). Managing time in GIS: an event-oriented approach dans Clifford J., Tuzhilin A. (dir.) (1995). Proceedings of the International Workshop on Temporal Databases : Recent Advances in Temporal Databases, Springer-Verlag, p. 23-24, Zurich, Suisse.
- Davoine P.-A., Mathian H., Saint-Marc C., Kaddouri L., Blaise J.-Y. (2015). The Visual Representations of Territorial Dynamics: Retrospective and Input from New Computing Environments. *Proceedings of 27<sup>th</sup> International Cartographic Conference, 16<sup>th</sup> General Assembly 2015, Rio de Janeiro, Brazil*.
- 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 Systems, 19(4): p. 201-214*.
- Edsall R., Kraak M.-J., MacEachren A.-M., Peuquet D.J. (1997). Assessing the effectiveness of temporal legends. *Environmental Visualization, pages 667-685 GIS/LIS, Cincinnati, 1997*
- Edsall R., Peuquet D. (1997). *A graphical user interface for the integration of time into GIS*. Research paper of The Apoala Project. Pennsylvania.
- Galton A. (2004) *Fields and objects in space, time, and space-time*. Spatial Cognition and Computation, vol. 4, n°1, p. 39-68, 2004
- Grenon P., Smith B. (2004), SNAP and SPAN: towards dynamic spatial ontology, *Spatial Cognition and Computation*, vol. 4, N°1, p. 69-103.

- Haddad H. (2009) *Une approche pour supporter l'analyse qualitative des suites d'actions dans un environnement géographique virtuel et dynamique. L'analyse « What-if » comme exemple.* PhD Thesis. Université Laval, Québec, Canada.
- Hägerstrand T. (1970), What about people in regional science ? *Papers of the Regional Science Association*, N°24, p. 7-21.
- Hornsby L., Egenhofer M.-J. (2002). Modeling Moving Objects over Multiple Granularities. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 36 : p. 177-194.
- Hewitt K. (1983). The Idea of Calamity in a Technocratic Age. In K. Hewitt, *The risks and hazards series*, Allen & Unwin Inc., Boston, p 3-32.
- Jones G., Chester D.K., Shooshtarian F. (1999). Statistical analysis of the frequency of eruptions at Furnas Volcano, Sao Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92 p. 31–38.
- Kraak M.-J., Ormeling F. (2010). *Cartography, Visualization of spatial data*. Routledge, 2010.
- Lafon F., Benoit M., Chevier C., C.-M. Dulic, Pineau L. (2013). *L'aléa inondation. État de l'art préalable à l'élaboration du guide inondation pour les installations nucléaires* [http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/surete/IRSN\\_Rapport-Alea-Inondation\\_2013.pdf](http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Rapport-Alea-Inondation_2013.pdf) p.8-24.
- Li X. (2010). *The Time wave in time space. A visual exploration environment for spatio-temporal data*. PhD Thesis, University of Twente.
- MacEachren A.-M. (1994). Time as a cartographic variable. Dans Unwin D.J., Hearnshaw H.M., Wiley, *Visualization in Geographic Information Systems*, p 115--130.
- Mathian H., Sanders L. (2014). *Objets géographiques et processus de changement. Approches spatio-temporelles*. Collection Systèmes d'information géographique. ISTE Editions, London, UK, 2014.
- Moisuc B., Davoine P.-A., Gensel J., Martin H. (2005). Design of Spatio-Temporal Information Systems for Natural Risk Management with an Object-Based Knowledge Representation Approach, *Geomatica*, Vol. 59, No. 4.
- Ouillon G., Corsini M., Tabeaud M., Cossart E. (2008). *Evaluation et Gestion des Risques Naturels*, <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/risques-naturels/html/2/21/212/index.html>
- Reitsma, F. (2004) *A New Geographic Process Data Model*. PhD thesis, Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, 2004
- Tufte, E. (1983) *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, Connecticut, 1983