SYMBOLISATION ET GÉNÉRALISATION DE DONNÉES DE RÉSEAU D'EAU À DIFFÉRENTES ÉCHELLES

par Ha Pham et Anne Ruas
Laboratoire LISIS, IFSTTAR France

Ce papier est une traduction de : Ruas A. and Pham H., 2015, « Symbolization and Generalization to Map Water Pipe Data Flow and Water Quality at Different Scales », The Cartographic Journal, vol. 52, n° 2 (Special Issue of International Cartographic Conference in Rio 2015)

La représentation de données d'écoulement de l'eau potable est un véritable défi, non seulement pour détecter des fuites d'eau mais aussi pour contrôler la qualité de l'eau. En France, 900000 km de canalisations d'eau servent 99% de la population. Une loi récente (Décret 2012-97 du 27 janvier 2012) impose la cartographie du réseau d'eau dans un système géographique connu avec une précision de 0,4 à 1,5 m selon l'âge et le type de la canalisation. Des capteurs sans fil et des modèles basés sur la mécanique des fluides (CFD) permettent d'étudier l'écoulement et de reconstruire ses paramètres tels que la vitesse, la pression et la concentration de chlore en chaque point. Cette information peut être utilisée pour détecter des fuites et pour contrôler la concentration de chlore ou d'autres produits chimiques. Cependant cette information n'est pas facile à représenter dans un SIG en raison de la faible largeur du tuyau et du très grand nombre de points nécessaires au calcul. Dans ce travail de recherche, nous proposons des solutions pour représenter ces informations à différents niveaux de détail avec d'autres informations topographiques telles que les routes et les bâtiments. Nous proposons tout d'abord d'utiliser les symboles surfaciques au lieu de symboles ponctuels pour améliorer la perception du phénomène selon le zoom. Nous proposons également de généraliser les données initiales de l'eau pour les processus de dézoom. Nous utilisons l'axe de la conduite d'eau comme géométrie de base que nous segmentons. Ensuite, nous calculons une valeur généralisée de la pression, de la vitesse ou de la concentration chimique pour chaque segment avec une fonction spécifique adaptée. Nous proposons aussi un schéma conceptuel de données qui décrit les informations requises pour représenter ces données à différents niveaux de détail. La solution a été mise en œuvre sur un service web cartographique qui propose un ensemble d'outils tels que la sélection des données, zoom, dézoom mais aussi une animation pour observer la propagation de chlore dans le réseau.
Mots-clés: sémiologie, généralisation, géovisualisation, données sur l'eau, pollution, ville intelligente

Introduction

Besoins en matière de cartographie des canalisations et de leur flux

La cartographie de l'écoulement de l'eau potable est un défi, non seulement pour détecter les fuites d'eau mais aussi pour contrôler la qualité de l'eau. En France, 900000 km de canalisations d'eau desservent 99% de la population. Une loi récente impose la cartographie du réseau d'eau dans un référentiel géographique connu avec une précision de position plane de 0,4 à 1,5 m selon l'âge et le type de la canalisation (Onema 2013). La figure 1 illustre un exemple d'une carte du réseau d'eau.

Par ailleurs, des capteurs sans fil et des modèles basés sur la mécanique des fluides (CFD) permettent d'étudier l'écoulement de l'eau et de calculer des paramètres intéressants comme la vitesse, la pression et la concentration chimique de polluants ou de chlore utilisé pour la désinfection. Dans le cadre de notre étude, le chlore est utilisé comme une pollution chimique, mais cela peut être d'autres produits chimiques que le capteur est capable de détecter.

Ainsi, avec une représentation numérique de conduites d'eau potable, des capteurs et des modèles efficaces, il est possible de détecter les fuites d'eau et de contrôler la concentration de chlore ou d'autres produits chimiques.

Exemple de calculs de flux d'eau et de diffusion de produits chimiques

Certaines recherches effectuées à l'IFSTTAR[1] visent à calculer le débit d'eau et la concentration de produits chimiques dans les conduites d'eau par une modélisation CFD efficace. La première étape consiste toujours à la

1 IFSTTAR est un institut de recherche français, qui dépend du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE). IFSTTAR effectue des recherches sur les infrastructures, le transport et le développement.

Figure 1 : Exemple fictif d'une carte du réseau d'eau potable (l'ONEMA 2013)

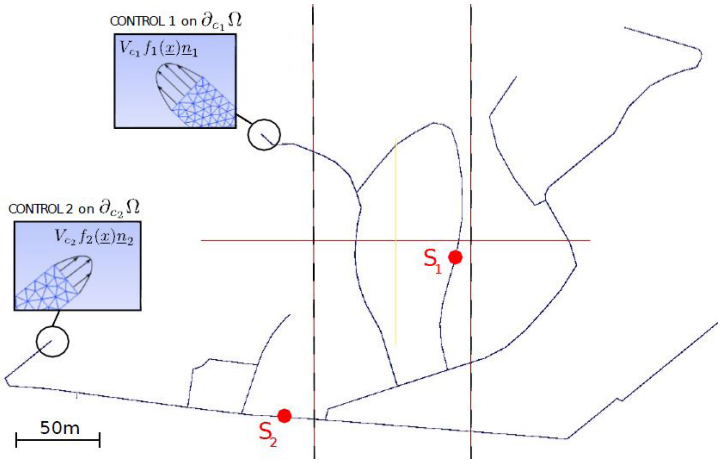


Figure 2 : Maillage du réseau d'eau pour les calculs de flux (Waeytens et al. 2013a)

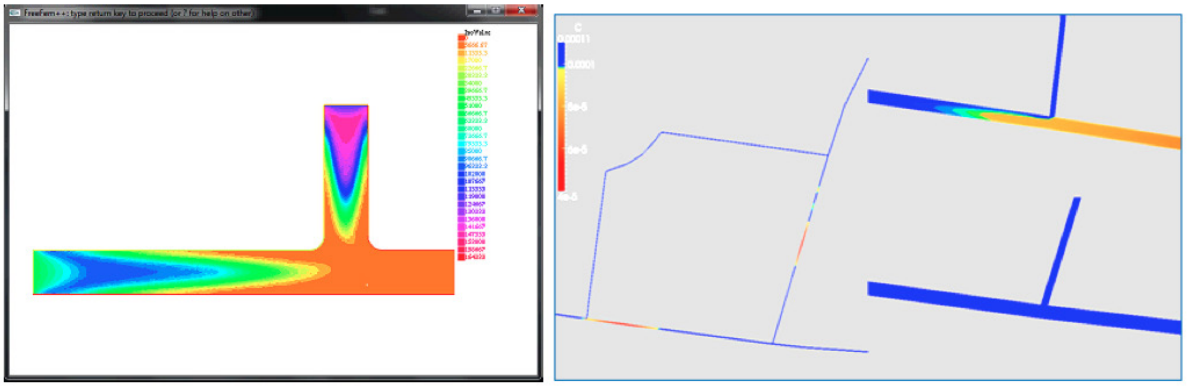


Figure 3 : Visualisation du champ de concentration de chlore avec FreeFem ++ (à gauche) et avec Paraview (à droite)

```
816169
        8.366637257e-007        8.366637339e-007        8.366637339e-007        1.516893524e-006        8.18160221e-007
        8.366637339e-007        6.605239936e-007        1.737795148e-006        -6.605239889e-007       2.502041012e-007
        -6.605239889e-007       6.085865936e-007        1.931302506e-006        1.913261228e-006        1.309426416e-006
        1.133880284e-006        1.624787257e-006        2.060001659e-006        2.278427971e-006        2.34131673e-006
        6.605239963e-007        1.595909484e-006        6.605239936e-007        -6.605239889e-007       3.185864114e-007
        -6.605239992e-007       1.282451483e-006        1.89559403e-006 2.096585077e-006        4.895219775e-007
```

Figure 4 : Extrait du fichier décrivant la vitesse selon l'axe de X (Vx). La première valeur est le nombre de points (816169), la seconde est la vitesse Vx pour le premier nœud, etc.

construction de la géométrie appropriée. La géométrie 2D de l'intérieur du tuyau est construite avec un algorithme de maillage spécifique (par exemple la plateforme Salomé (Salomé et al. 2014)) afin d'avoir le niveau de détail approprié pour les calculs. Dans l'exemple ci-dessous que nous avons pris pour nos expérimentations, un réseau d'eau de 2 km de long est maillé avec plus de 800 000 points (figure 2).

Puis deux algorithmes, codés sur la plateforme Freefem++ (Hecht 2012) sont utilisés (Waeyten et al. 2013a, 2013b Waeytens et al. 2013b) :

- Un est basé sur la modélisation de problème inverse. Il utilise une version simplifiée des équations de Navier Stokes pour calculer la vitesse et la pression à chaque point de mesure à partir de deux capteurs dans le réseau (S1 et S2 en figure 2),

- Un est basé sur la modélisation de problème direct. Il calcule l'advection, la diffusion et réaction du chlore avec les conditions limites. Si une quantité de chlore est introduite dans le réseau, il est possible de calculer le champ de concentration dans tout le réseau pendant la période de sa diffusion.

Dans les deux cas, la valeur en chaque point est soit stable soit varie au cours du temps :

- Si la pression de l'eau est stable et si la même quantité de chlore est ajoutée régulièrement dans l'eau, on est dans un état stationnaire. Un champ de données est suffisant pour caractériser l'écoulement de l'eau et la concentration de chlore,
- Si la pression de l'eau change, ou si la quantité de chlore varie avec le temps (condition limite), les valeurs de vitesse, de pression et de concentration en chlore varient avec le temps. Un ensemble de champs de données est nécessaire pour caractériser l'écoulement de l'eau ou la diffusion du chlore.

Représentation de données de l'écoulement et de concentration chimique avec des outils non-SIG de visualisation

Généralement, le résultat d'une simulation est représenté soit sur le logiciel de calcul (ici FreeFem ++ figure 3 gauche) soit sur les outils visuels dédiés à la visualisation de champs de données tels que le logiciel Paraview (figure 3 droite).

Ces représentations sont parfaites pour le scientifique qui calcule le champ de données, mais elles sont loin d'être appropriées pour le grand public car il n'y a pas d'autres informations géographiques (comme des routes ou des bâtiments) qui sont nécessaires pour contextualiser ces informations. Nous pourrions décider de rasteriser cette information contextuelle et de l'ajouter dans ces outils, mais nous avons plutôt décidé d'inclure les résultats de ces simulations dans des outils qui sont dédiés à la représentation de l'information géographique: les SIG. Ce choix est motivé par la capacité du SIG de faire des analyses spatiales approfondies et de disposer de symbolisations riches qui sont utiles pour aller d'une simple visualisation des phénomènes à leur interprétation par une communauté plus large.

La question est de savoir si les SIG sont capables de visualiser les champs de données qui ont un grand niveau de détail et d'afficher les différents états nécessaires pour illustrer les propagations. Ces recherches s'inscrivent dans la continuité des recherches que nous menons sur la représentation des phénomènes (Ruas 2015).

Ce papier propose des solutions pour représenter les données d'écoulement de l'eau non seulement dans les SIG mais aussi pour un service web de cartographie.

- En section 2, nous expliquons les difficultés pour visualiser les champs de données à différentes échelles,
- En section 3, nous présentons notre solution ainsi qu'un modèle de données pour représenter l'information à différents niveaux de détail,
- En section 4, nous présentons brièvement les outils de mise en œuvre utilisés pour construire notre solution de web mapping.

Pour l'expérimentation, nous utilisons les données suivantes :

- Un champ de données décrit la pression à chaque point. Il correspond à un état stationnaire (pression régulière au cours du temps)
- Un champ de données décrit la vitesse à chaque point. Il est calculé par la même simulation que la pression. Chaque point est décrit par une vitesse selon l'axe de X (Vx) et une vitesse selon l'axe de Y (Vy).
- Un ensemble de 360 champs de valeurs décrivent la concentration de chlore dans la condition où la vitesse et la pression sont stables. Nous simulons une quantité donnée de chlore dans le coin Nord-Ouest du réseau. La simulation calcule la diffusion du chlore et écrit l'état du réseau toutes les 10 secondes pendant une heure (360 états). Un état est caractérisé par un seul fichier qui décrit la valeur du chlore sur chaque point de la grille.

Les données expérimentales ne correspondent pas à une réalité, mais les valeurs sont réalistes.

Difficultés de représenter des données du réseau d'eau à petite échelle

De nombreuses difficultés surviennent dans les données de simulation de cartographie sur SIG.

- Les données initiales ne sont pas dans un système de coordonnées géographiques. Bien entendu, les données ont des coordonnées locales.
- Le format de sortie n'est pas un standard de l'OGC. La plupart du temps, pour des raisons d'efficacité, les données sont enregistrées dans des fichiers différents : un donne les coordonnées des nœuds; les autres donnent la valeur sur ces points : un pour la pression, deux pour la vitesse et 360 pour la concentration de chlore. La structure de chaque fichier est très simple: les valeurs sont données les unes après les autres en suivant l'ordre des nœuds (figure 4).
- La dernière difficulté est due à la représentation de ces informations à différents niveaux de détail.
- Nous ne concentrons pas notre papier sur les deux premiers problèmes qui sont liés à l'absence d'interopérabilité, mais sur le troisième. Des solutions pratiques ont été utilisées pour mettre la canalisation d'eau dans un système de références et pour décrire les différentes valeurs dans une base de données structurée.

Nous pourrions considérer que les données ressemblent à un MNT. Dans ce cas, nous pourrions créer une grille régulière et calculer la valeur de chaque nœud en fonction de la nature du champ de valeurs que nous voulons représenter (la pression, la vitesse ou la concentration chimique). Cette solution présente certains inconvénients :

- La largeur de la canalisation d'eau est très petite (environ 50 cm de largeur) et il peut y avoir 5 points ou plus sur sa largeur. Donc il faudrait pour créer un MNT avoir une résolution de moins de 10 cm. Cela aboutirait à la création d'un MNT ayant autour de 108 points pour un petit réseau d'eau de 1 km², la plupart des points ayant des valeurs nulles,
- Quand on dézoome pour avoir un aperçu sur le réseau, avec ce MNT nous ne pouvons plus voir les informations. En figure 3 à droite, nous voyons que la canalisation est si mince que nous ne pouvons plus voir les valeurs;
- La structure de MNT est incapable de représenter la vitesse. Un MNT est parfait pour cartographier une valeur par une couleur, mais il ne permet pas de représenter la direction de l'écoulement de l'eau.

Nous essayons donc de proposer des solutions alternatives pour représenter nos données. Nous rappelons que notre objectif est :

- d'observer les informations à différents niveaux de détail avec les processus de zoom et dézoom afin de permettre une vue globale sur les phénomènes ainsi qu'une vue détaillée sur ce qui se passe à un endroit précis du réseau,
- de représenter la pression, la concentration de chlore et la vitesse,
- d'optimiser la quantité d'informations afin de réaliser un service web de cartographie efficace.

Représentation de données d'écoulement avec des symbolisations adaptatives

Les symboles ponctuels pour représenter des valeurs sur les nœuds

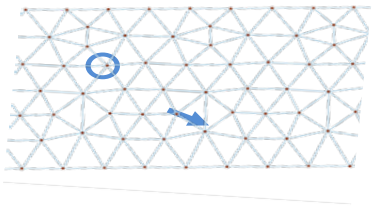
Si nous analysons les données initiales, nous avons un ensemble de valeurs ou de vecteurs attachés à un ensemble de nœuds. Le nœud appartient à un réseau irrégulier calculé par un algorithme de maillage à partir de la géométrie des bords de la canalisation.

Nous décidons d'utiliser les symboles SIG sur chaque nœud initial pour représenter ces informations (voir figure 5) :

- **un cercle** pour représenter la pression et le chlore,
- **une flèche** pour représenter le sens de l'écoulement de l'eau (vitesse).

Dans ce cas, la taille des symboles doit être choisie en fonction de la distance minimale entre les nœuds du réseau, sinon les symboles risquent de se superposer. Ainsi, la seule variable visuelle (Bertin 1967) que nous pouvons utiliser pour montrer la variation de la valeur de la pression ou de la concentration de chlore est la composante valeur de la couleur. Même si la couleur (teinte) n'est pas une variable pour montrer des ordres (Bertin 1967) si nous combinons la teinte avec la valeur (la quantité de blanc), nous pouvons construire une gamme de couleurs ordonnée. Ainsi, nous allons (comme beaucoup de gens l'ont fait) changer la couleur en fonction de la valeur dans une gamme de couleurs bien définies.

Le problème avec ce type de symbolisation est que lorsqu'on dézoome, la taille du symbole reste la même, bien que la distance entre les nœuds diminue. Comme la taille du symbole reste la même et que la taille de la zone de cartographie diminue, la densité augmente. En figure 6, nous avons créé une structure composée de nœuds réguliers pour illustrer ce phénomène. A la fin (à droite), l'espace est couvert par des symboles qui se superposent les uns sur les autres. Ce problème est bien connu dans la cartographie.



Shape	Size	Color
	Fixed : according to the distance between nodes	According to the value (pressure / concentration)
	Fixed : according to the distance between nodes	According to the speed of the water

Figure 5: Symboles ponctuels sur les nœuds de la grille. La taille des symboles doit être fixée pour éviter les superpositions.

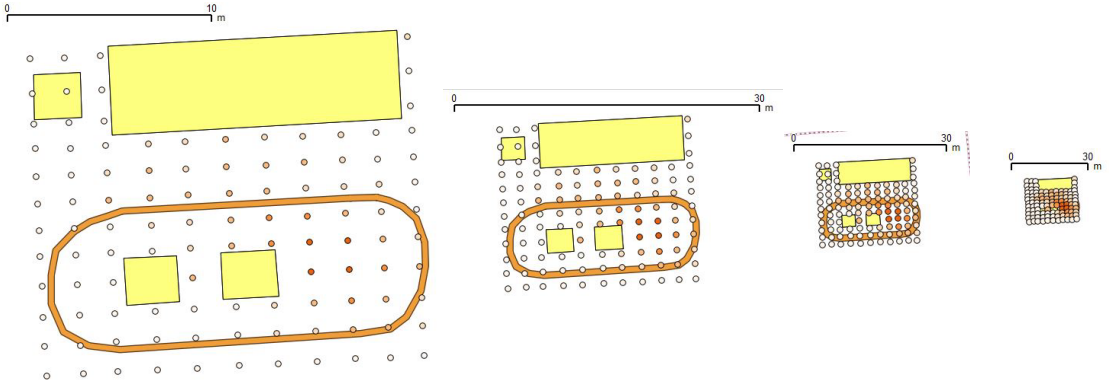


Figure 6 : Les symboles ponctuels ne changent pas de taille, ils se superposent lorsque la distance entre eux diminue lors de dézooms

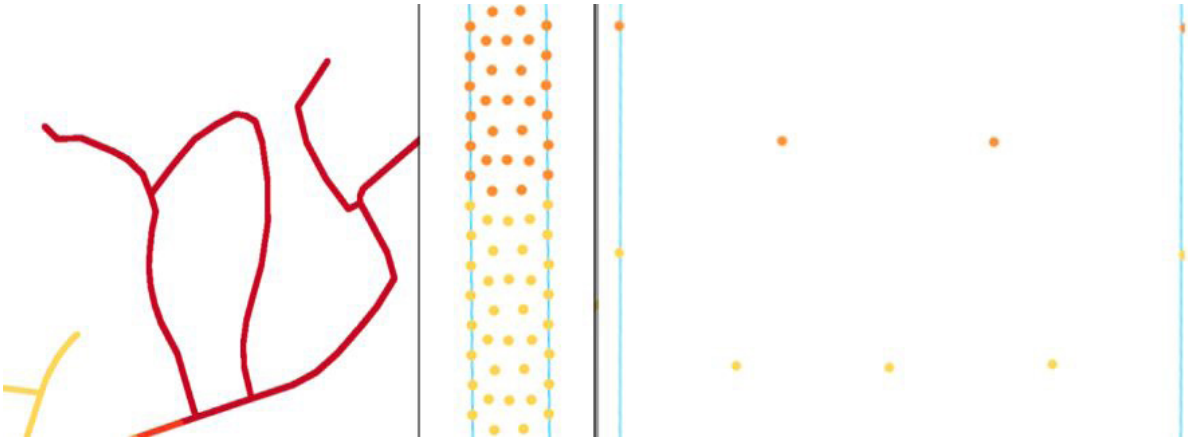


Figure 7 : Dezoom (à gauche), zoom approprié et Zoom (à droite) avec symboles ponctuels

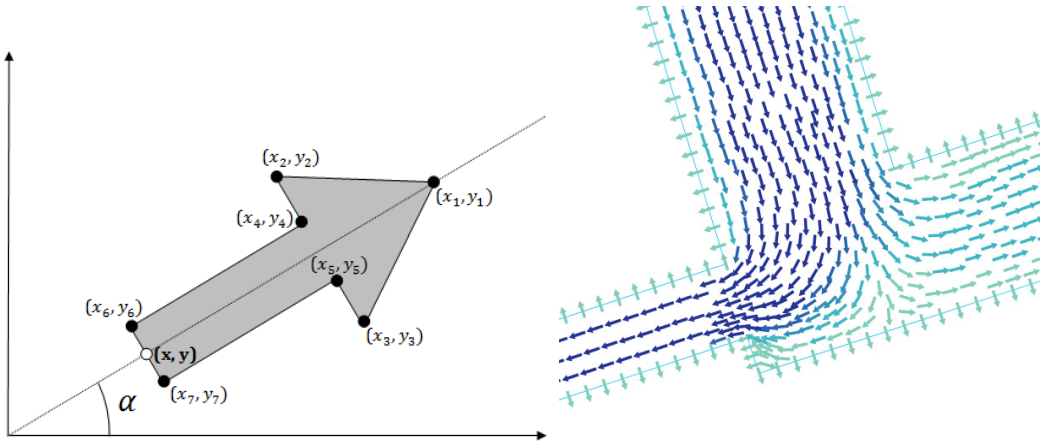


Figure 8 : Représentation de la vitesse d'écoulement par des flèches

Nous pourrions considérer que cette superposition n'est pas un problème : Les symboles se superposent et donnent une impression visuelle de valeurs (figure 7 gauche). Cela est vrai, mais la superposition de symboles peut cacher des informations importantes, car on ne peut pas choisir quels symboles se superposent aux autres. A l'inverse lorsqu'on zoome la taille du symbole reste la même bien que la distance entre les nœuds augmente visuellement. Dans ce cas, les informations semblent perdues dans l'espace vide (figure 7 droite) et ne donnent pas l'impression que le phénomène décrit soit continu.

Afin de résoudre ces problèmes, nous proposons tout d'abord d'utiliser les symboles surfaciques au lieu de symboles ponctuels et de créer des champs de valeurs dédiés à différents niveaux de détail avec des processus de généralisation.

Symboles surfaciques et généralisation pour adapter la symbolisation aux différentes échelles

La première solution pour éviter l'effet de densité visuelle est d'utiliser des symboles surfaciques au lieu de symboles ponctuels. Techniquement, cela signifie que nous devons créer des polygones dédiés. L'avantage de ce choix est que lorsque l'on zoome, la taille de la symbolisation augmente donc la densité visuelle reste la même. Cette solution permet de maintenir un bon effet visuel pendant le zoom. Par contre lorsqu'on dézoome, les polygones deviennent trop petits pour que nous puissions les voir, mais au moins il n'y a pas de superpositions involontaires entre les symboles comme c'est le cas avec les symboles ponctuels. Quand on dézoome, la seule bonne solution est d'utiliser un autre type de symbolisation où les données ont été généralisées de façon maîtrisée.

Les deux solutions (symboles surfaciques et généralisation des données) demandent d'enrichir le schéma de données et d'ajouter les données cartographiques dans la base de données. On stocke donc différents champs de données cartographiques calculées à partir du champ de données initial et nous choisissons les couches cartographiques appropriées à afficher en fonction du zoom.

Dans la partie suivante, nous expliquons d'abord la symbolisation et les méthodes de généralisation et ensuite nous présentons en section 3.4 le schéma de données qui permet de stocker toutes les informations pour la cartographie en ligne.

Des symboles ponctuels aux symboles surfaciques

Pour le symbole surfacique, nous calculons tout d'abord une zone de tampon (buffer) autour d'un nœud initial par une fonction SIG. La taille du symbole est identique en chaque point. Elle doit être inférieure à la distance moyenne entre les nœuds. Pour donner l'impression de la continuité du flux d'eau, nous choisissons des grands symboles qui remplissent presque l'espace dans le tuyau (Figure 13 gauche).

Pour représenter la vitesse, nous choisissons une flèche pour sa direction et la valeur de la couleur pour l'intensité. Pour que les flèches soient stables lors des zooms/dezooms, nous créons des polygones à partir des coordonnées du nœud (x, y) et de la vitesse (Vx, Vy) qui donnent le sens de la flèche. Nous ne donnons pas le détail de calculs des 6 points, ce sont des calculs trigonométriques classiques (figure 8 gauche). Comme dit précédemment nous avons normalisé la taille des flèches afin d'éviter les superpositions. La vitesse est exposée par la couleur de chaque flèche (figure 8 droite).

Des points aux lignes

Si les symboles surfaciques (circulaires ou les flèches) donnent de bons résultats quand on zoome, lorsqu'on dézoome aucune symbolisation n'est satisfaisante : les symboles surfaciques sont trop petits, les symboles ponctuels sont assez grands mais l'interprétation peut être ambiguë (figure 9).

Nous sommes dans le cas type où il faut généraliser les données. Pour ce faire, nous avons décidé d'utiliser l'axe de la conduite d'eau comme la géométrie de l'information parce qu'à cette échelle nous percevons une information linéaire.

L'axe a été calculé à partir des bords de la canalisation et segmenté en segments de longueur égale. Ensuite, la valeur du segment (par exemple la pression, la vitesse ou la concentration de chlore) a été calculée à partir des valeurs de tous les nœuds qui sont proches de chaque nouveau segment. Elle est le maximum, le minimum ou la moyenne des valeurs de nœuds.

Comme nous pouvons voir en figure 10, certains nœuds peuvent appartenir à deux zones, mais ils n'ont que très peu d'impact sur le calcul de la valeur généralisée du segment car la quantité de ces nœuds est très faible par rapport à la quantité de nœuds qui ne sont pas dupliqués. Par ailleurs la fonction de généralisation dépend de la nature de données :

- Pour la pression, la valeur généralisée est la moyenne des valeurs de nœuds,
- Pour un polluant, la valeur choisie est le maximum pour souligner le danger,
- Dans certains cas, pour le chlore, la valeur généralisée est la valeur minimale de chaque partie du réseau car le manque de chlore dans le tuyau peut provoquer des problèmes d'infection.

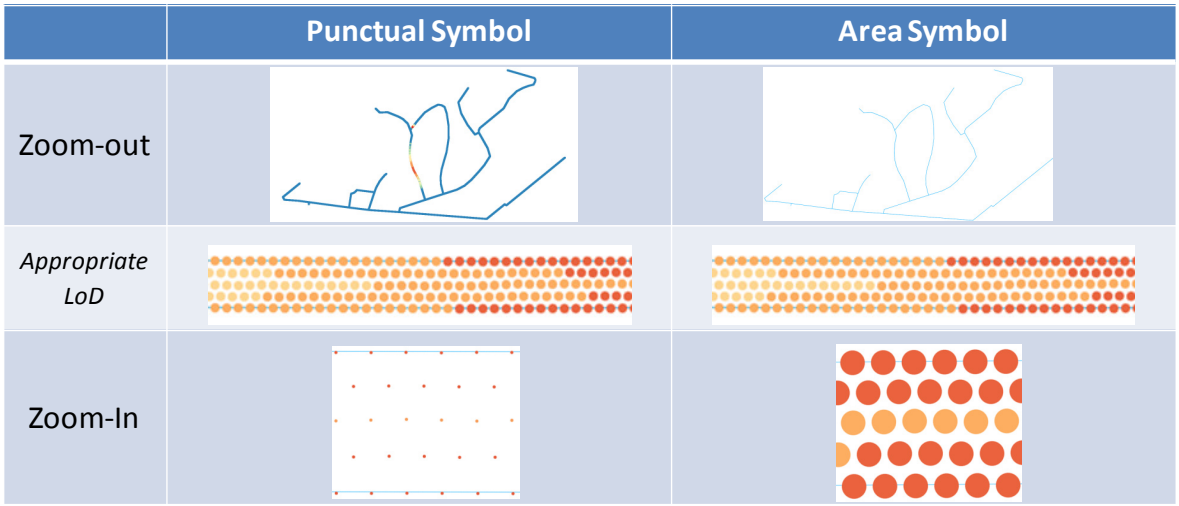


Figure 9 : Comparaison entre les symboles ponctuels et surfaciques

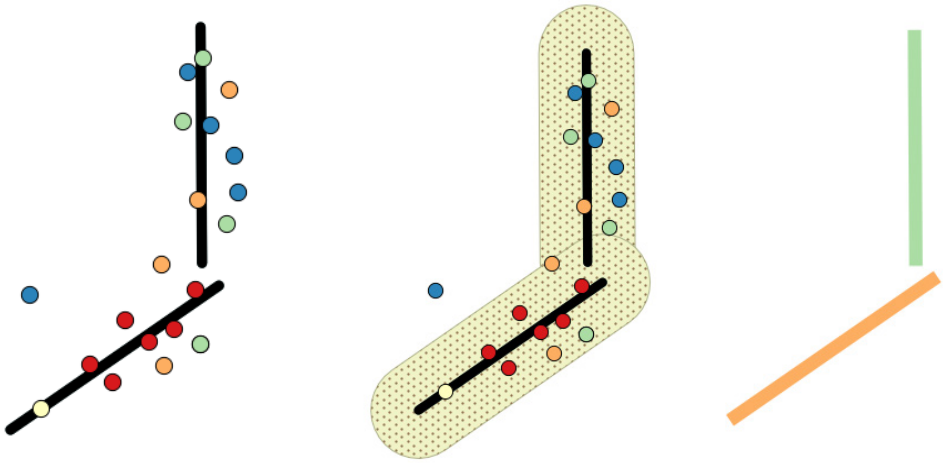


Figure 10 : Calcul d'une valeur pour chaque segment à partir des valeurs initiales

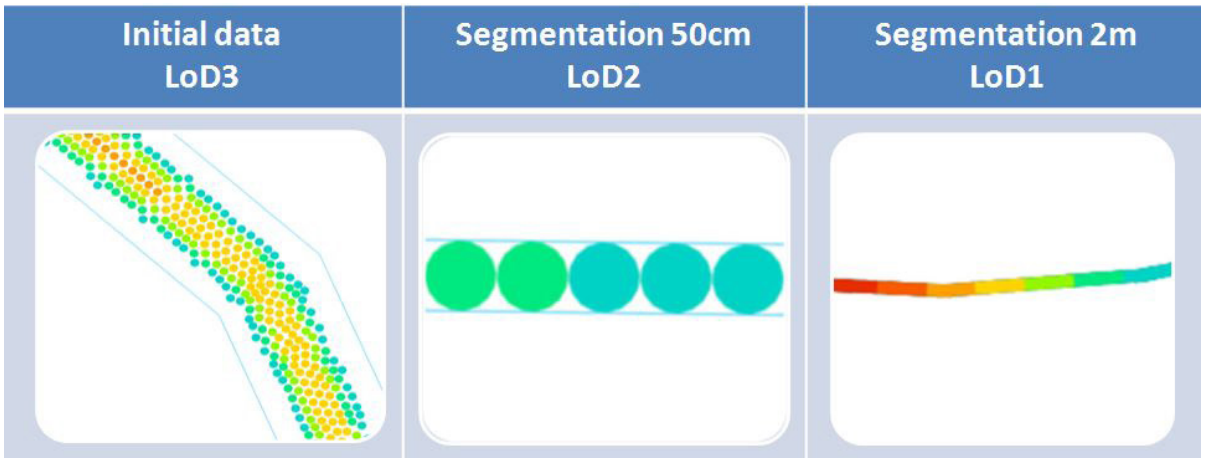


Figure 11 : Trois niveaux de détails

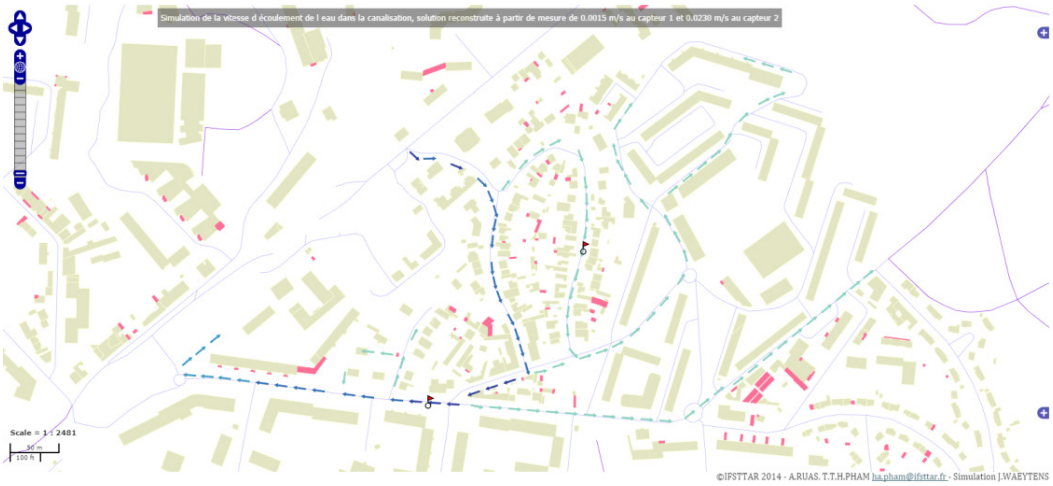


Figure 12 : Représentation de la vitesse d'écoulement à l'échelle la plus petite (LoD1)

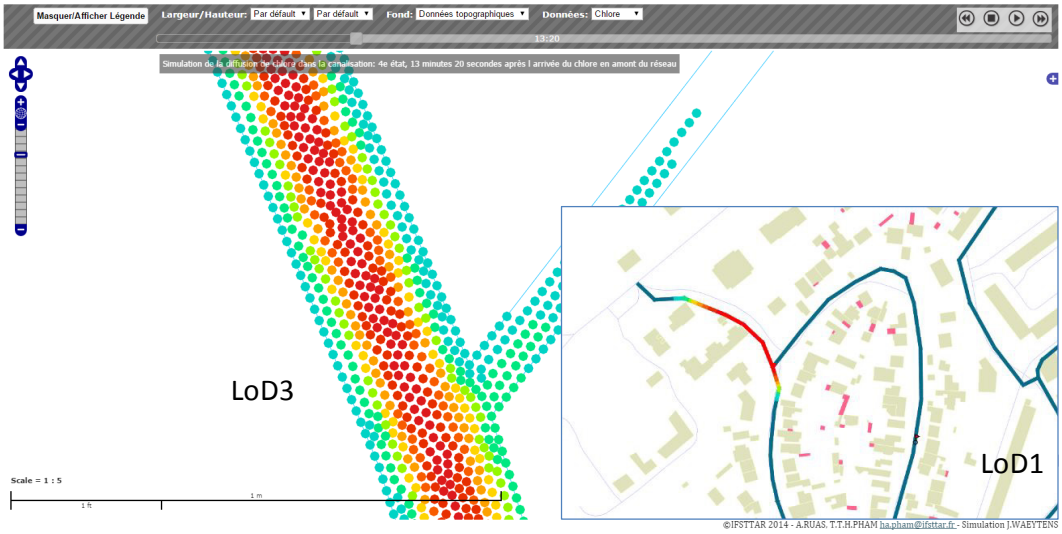


Figure 13 : Différentes symbolisations pour visualiser la propagation du chlore

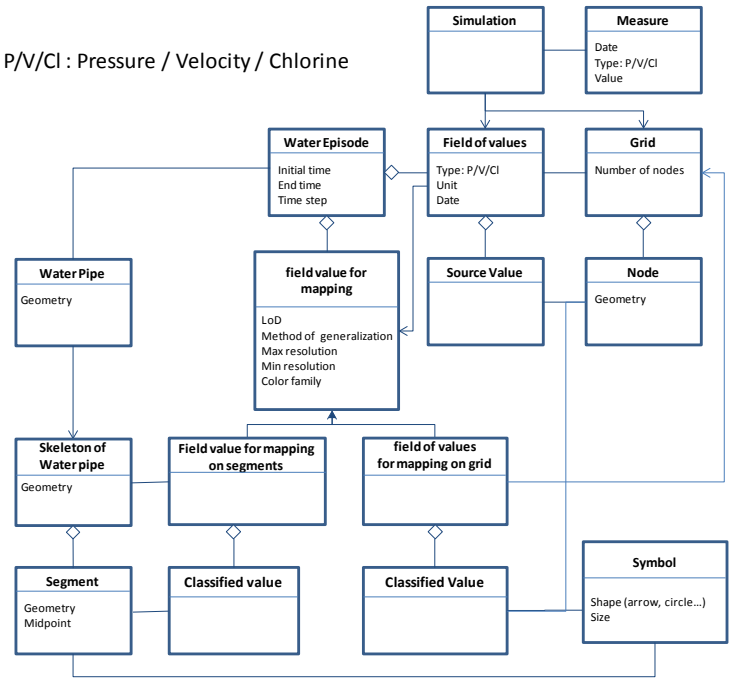


Figure 14 : Schéma conceptuel de données: des champs de valeurs cartographiques sont créés

Expérimentalement, nous avons choisi de segmenter la canalisation tous les 2 mètres (figure 11 droite) pour niveau de détail 1 (LoD1). Afin de donner une continuité, nous ajoutons un niveau intermédiaire où le segment a la même taille que la largeur du tuyau. Nous avons ensuite représenté les données par des cercles au milieu de segments pour obtenir le niveau 2 (LoD2).

La généralisation est également effectuée de la même manière pour la vitesse comme illustré en figure 11. Actuellement la direction est la moyenne des directions. Une optimisation pourrait être réalisée en recherchant la meilleure direction comme cela a été proposé dans certaines études de généralisation de bâtiments (Duchêne et al., 2003).

Dans la figure suivante (figure 13), nous percevons la diffusion du chlore, 13 minutes après le début, à deux niveaux différents de détail: la plus précise (LoD3) et la plus généralisée (LoD1). Nous voyons que le plus petit niveau de détail (LoD1) permet une vue d'ensemble sur la propagation du chlore dans la canalisation et le plus grand (LoD3) permet de voir ce qui se passe aux connexions.

Schéma conceptuel

La Figure 14 présente une vue simplifiée du schéma de données.

Une simulation calcule, à partir de mesures initiales, une grille composée de nœuds et un ensemble de champs de valeurs. Un champ de valeurs décrit la pression, la vitesse ou la concentration de chlore à un moment donné. Il est décrit par un ensemble de valeurs situées sur les nœuds de la grille. Nous proposons de créer différents champs de valeurs cartographiques. Un champ de valeurs cartographiques décrit le phénomène à un LoD et peut être utilisé entre deux résolutions. Il est composé d'un ensemble de valeurs qui seront représentées soit sur les nœuds de la grille soit sur les segments calculés à partir de la canalisation. Ces valeurs sont classées (valeur classée) et représentées par une couleur spécifique d'une famille de couleurs. Elles sont représentées par des symboles qui ont une forme (un cercle ou une flèche) et une taille. Chaque symbole surfacique est calculé à partir de ce symbole (forme et taille), avec une couleur selon sa valeur classifiée et placée dans la position donnée par un nœud de la grille.

Des données initiales au service web

La mise en œuvre repose sur un ensemble de logiciels open source: PostGIS pour stocker les données, QGIS pour créer des symboles, OpenLayer et GeoServer pour le service web. Le serveur est prêt; il sera ouvert début 2016.

Lire les données brutes et les charger dans PostGIS

Les données brutes sont stockées dans des fichiers texte (voir figure 2). Pour lire des fichiers texte et charger ces données dans PostGIS, nous avons écrit des programmes Java qui utilisent une connexion JDBC. La connexion JDBC permet à un programme Java de se connecter avec une base de données spatiale dans PostGIS.

Généraliser les valeurs et représenter sur l'axe de la canalisation d'eau

Pour créer un champ de valeurs pour la cartographie, l'axe de la conduite d'eau est divisé en segments égaux. La taille de segment dépend du niveau de détail (LoD) auquel les champs de valeurs correspondent. Puis chaque segment est bufférisé pour générer une zone de proximité. La valeur calculée pour chaque segment est déterminée par les valeurs des nœuds qui croisent avec cette zone.

Symbolisation

Nous calculons la couche cartographique composée de flèches ou des cercles :

- les champs initiaux de valeur sont représentés par des cercles (pression, chlore) ou par des flèches (vitesse) qui correspondent au plus grand niveau de détail (LoD3).

- Les champs de valeur généralisés sont représentés par des cercles (de LoD2 de chlore) ou des rectangles (pression LoD2) sur les milieux des segments, des lignes (pression et le chlore, LoD1) ou les flèches (vitesse LoD1 et LOD2).

Ces données sont visualisées dans QGIS. QGIS crée .sld fichiers qui spécifient la couleur de ces cercles, flèches et lignes.

GeoServer

GeoServer est un serveur cartographique. Il visualise les données stockées dans PostGIS et utilise les fichiers .sld pour définir la symbolisation de données. Chaque table PostGIS correspond à une couche de GeoServer.

OpenLayers

OpenLayers est une bibliothèque JavaScript. Nous l'avons utilisée pour créer une carte comme un ensemble de couches de GeoServer. Nous avons également ajouté diverses interactions et les contrôles pour permettre à un utilisateur de manipuler des cartes.

La diffusion de chlore est représentée par 18 états des 360 initiaux. Cela est suffisant pour la perception visuelle de la propagation. La concentration de chlore dans la conduite d'eau peut être consultée sur demande, un état après l'autre, elle peut également être animée automatiquement.

Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté des propositions visant à cartographier les données d'écoulement d'eau avec d'autres données géographiques. En raison du niveau très élevé de détail de la conduite d'eau (moins de 0,5 m de largeur), et la quantité de données nécessaire pour cartographier les flux d'eau (dans notre exemple 800.000 points pour un tuyau d'eau de 2km de long) ces données sont souvent visualisées sur des logiciels spécifiques. Pourtant, il est intéressant de représenter, sur un service web, les données thématiques avec les données géographiques classiques (telles que les routes, les bâtiments). Si un SIG est a priori la solution technique appropriée pour ce faire, il n'est pas bien adapté pour cartographier ces données. Cependant, avec un service web, nous pouvons stocker des couches cartographiques et les visualiser selon l'échelle visuelle. Nous pouvons visualiser des objets géographiques classiques tels que les routes et les bâtiments pour tout zoom et choisir les données réseau appropriées à chaque niveau de détail.

Cependant cela nécessite la création de couches cartographiques appropriées à partir des données initiales. Dans ce papier, nous avons proposé de créer trois couches cartographiques pour chaque paramètre: la pression, la vitesse et la concentration chimique.

Pour la pression et la concentration chimique, nous avons proposé d'utiliser les symboles surfaciques pour le niveau de détail le plus élevé (LoD3) et nous avons généralisé les données pour les autres niveaux de détail. La généralisation consiste à avoir une géométrie plus simple (un segment (LoD1) ou un cercle calculé à partir de courts segments (LOD2)) et à généraliser les valeurs thématiques. La généralisation des valeurs thématiques est classique, mais la fonction dépend de la nature du paramètre. Il peut être une moyenne (pression), un minimum (le chlore), un maximum (polluant) ou une valeur médiane (de vitesse). Nous avons aussi proposé un schéma conceptuel de données qui a été utilisé pour une meilleure compréhension et la mise en œuvre. Un serveur web qui a été développé illustre notre proposition.

Nous croyons que la communauté SIG devrait proposer des solutions innovantes pour inciter les scientifiques à utiliser nos modèles et des méthodes pour cartographier des phénomènes (tels que la pollution de l'air, les flux d'eau) avec d'autres informations géographiques. C'est important parce que cette information géographique contextuelle est essentielle pour la compréhension de l'information et pour la prise de décision.

Remerciements

Nous remercions Julien Waeytens du LISIS-IFSTTAR pour nous avoir fourni les simulations d'écoulement d'eau.

Bibliographie

Bertin J (1967) Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps. University of Wisconsin Press, 1983 (first published in French in 1967, translated to English by Berg W.J. in 1983)

Duchêne C, Bard S, Barillot X, Ruas A, Trévisan J, Holzapfel F (2003) Quantitative and qualitative description of building orientation, *6th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation, 28-30 April, Paris (France)*

Hecht F (2012) New development in FreeFem++, Journal of Numerical mathematics (2012) n° 3-4, 251-265.65Y15

Onema (2013) Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable, http://www.onema.fr/IMG/pdf/Guide_Gestion_Patrimoniale-HD_DEF.pdf, Accessed 5 November 2014

Pham H (2014) Service web cartographique pour le suivi de la qualité de l'eau, Master Thesis, Paris 6.

Ruas A (2015), From a phenomenon to its perception : models and methods to represent and explore phenomena on GIS. Modern Trends in Cartography Springer LNGC (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography), ISBN 978-3-319-07926-4, 259-268

Salome, Cea/den, EDF R&D, Open Cascade, Open source integration platform for numerical simulation, http://www.salome-platform.org, Accessed 5 November 2014

Waeytens J, Chatellier P, Bourquin F (2013b) Sensitivity of inverse advection-diffusion-reaction to sensor and control : A low computational cost toll. Computers and Mathematics with Applications 66 (2013) 1082-1103

Waeytens J, Merliot E, Chatellier P (2013a) Fast inverse modelling technique to reconstruct laminar flow. YIC 2013 ECCOMAS Young Investigatiors Conference Bordeaux- France.