

**APPORTS CROISÉS DE LA MODÉLISATION GÉOSTATISTIQUE ET  
DÉTERMINISTE  
EXEMPLE DES NITRATES ET DE L'OXYGÈNE DISSOUS DANS UN RÉSEAU  
HYDROGRAPHIQUE<sup>1</sup>**

Thèse d'Edwige **Polus-Lefebvre**<sup>1</sup>

Chantal de Fouquet<sup>2</sup> et Ghislain de Marsily<sup>3</sup>. – L'état bio-géochimique et écologique des cours d'eau est principalement caractérisé par les mesures ponctuelles aux stations, et par ailleurs décrit de façon continue par des modèles déterministes. Jusqu'à présent, les mesures disponibles le long des réseaux hydrographiques n'étaient pas prises en compte dans la modélisation déterministe, à l'exception de quelques stations utilisées pour fixer les conditions aux limites de la modélisation. Réciproquement, les estimations de la qualité des eaux à partir des seules mesures des réseaux de surveillance étaient effectuées sans lien direct avec les processus.

Le caractère tout-à-fait novateur de la thèse d'Edwige Polus-Lefebvre réside dans la combinaison de ces deux descriptions, ce qui permet d'améliorer la modélisation déterministe en la recalant aux mesures disponibles, et réciproquement, d'améliorer la pertinence des estimations, en les contraignant par la modélisation déterministe. Du point de vue géostatistique, l'étude d'un réseau hydrographique fait appel à des modèles récents de Fonctions Aléatoires définies sur des espaces non euclidiens, plus précisément sur des graphes orientés, ici mis en œuvre pour la première fois. Le problème concret porte sur les concentrations en nitrates et en oxygène dissous dans une partie du réseau hydrographique de la Seine (de Choisy et Poissy à l'amont jusqu'à Méricourt à l'aval), simulé à l'aide du modèle déterministe PROSE.

L'examen des relations structurales, spatiales ou temporelles, entre le modèle déterministe et les observations démontre ensuite que le modèle déterministe PROSE est utilisable comme « maquette » pour choisir des modèles pertinents de Fonctions Aléatoires sur graphes et les inférer. Ces modèles géostatistiques sont alors utilisés pour effectuer l'estimation des concentrations sur tout le réseau à partir des seules mesures aux stations, et pour quantifier les incertitudes d'estimation associées.

Une étude variographique détaillée montre que les concentrations peuvent être décrites par une combinaison de composantes (spatiales ou temporelles) dont l'amplitude diffère entre le modèle PROSE et les observations. L'évolution d'amont en aval des relations structurales entre PROSE et les observations permet de déceler les imperfections du modèle déterministe, de les caractériser et de les quantifier. La variographie (calcul des variogrammes expérimentaux et ajustement) se révèle ainsi particulièrement efficace pour confronter le modèle déterministe aux observations. Les nombreux résultats obtenus sont expliqués en termes de singularités du réseau (stations

---

<sup>1</sup> Thèse de Doctorat en Géostatistique soutenue le 6 décembre 2010 pour obtenir le grade de Docteur délivré par l'École des Mines ParisTech, spécialité géostatistique, 216 pages.

<sup>2</sup> Correspondant de l'Académie d'Agriculture de France.

<sup>3</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture de France, Membre de l'Académie des Sciences, Membre de l'Académie des Technologies.

d'épurations, divers exutoires etc.) ou d'une mauvaise représentativité locale du modèle déterministe.

Les relations structurales entre observations et modèle PROSE sont enfin exploitées pour améliorer l'estimation des concentrations entre les stations. Seul capable de décrire les singularités du réseau, le modèle déterministe est introduit dans la procédure d'estimation géostatistique. Dans le détail, le choix entre estimateurs multivariés est argumenté pour les nitrates et l'oxygène dissous selon les propriétés de ces composés et les mesures disponibles. Ce travail très original introduit une dimension stochastique dans la simulation déterministe des processus naturels à prendre en compte en sciences de l'environnement, ce qui permet d'introduire les incertitudes d'estimation et de les quantifier. Mariant deux approches de modélisation spatio-temporelles, cette thèse constitue un exemple remarquable de recherche pluridisciplinaire.

Présentée de façon pédagogique la thèse constitue une avancée très significative pour la caractérisation de la qualité des eaux fluviales. Ce sujet est d'une grande actualité notamment pour l'application de la Directive Cadre sur l'Eau de 2000 de l'Union Européenne, qui impose d'atteindre d'ici 2015 le « bon état écologique et géochimique des masses d'eau ». En agriculture, la qualité de l'eau en détermine les usages mais aussi le niveau acceptable des rejets. Une estimation précise des concentrations est par ailleurs nécessaire pour la caractérisation des effets des pratiques agricoles ou de leurs évolutions.

La contribution d'Edwige Polus-Lefèbvre allie une maîtrise approfondie des méthodes géostatistiques (classiques et avancées) à la compréhension détaillée de la modélisation bio-géochimique des cours d'eaux.