

Diagnostic pour la restauration de ruisseaux périurbains

Diagnosis for the restoration of urban streams

P. BATTAGLIA*/*** - M. N. PONS** - M. PETIT * - X. FRANCE *

*GEMCEA,

149 rue Gabriel Péri, 54500 Vandoeuvre-les-Nancy

Philippe.Battaglia@gemcea.u-nancy.fr

**Laboratoire Réactions et Génie des Procédés.– CNRS

Nancy Université INPL, BP 20451, 54001 Nancy cedex

Marie-Noelle.Pons@ensic.inpl-nancy.fr

*** CETE de l'Est- LRPC de Nancy, 71 rue de la Grande Haie, 54.510
Tomblaine

RÉSUMÉ

De nombreuses collectivités ont la volonté de valoriser leurs petits cours d'eau urbains. Cette volonté sociétale s'accompagne d'exigences réglementaires parmi lesquelles la directive européenne dite Directive Cadre sur l'Eau (DCE), qui impose aux États membres l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau d'ici 2015.

Compte tenu des enjeux importants et multiples dans les zones habitées, des contraintes liées à l'existant et à la disponibilité foncière, la phase de diagnostic est essentielle. Une méthodologie de diagnostic spécifiquement adaptée aux ruisseaux urbains a été développée. Elle peut se décliner sur deux niveaux, un premier inventaire simple à réaliser, peu coûteux en matériel et transposable à tout type de cours d'eau périurbain, qui nécessite peu de matériel et de moyens et un second niveau complémentaire, destiné aux sites à forts enjeux, avec des moyens techniques et financiers plus importants et une durée d'étude plus longue.

Les principaux domaines étudiés sont le milieu physique, l'hydrologie, la qualité physico-chimique de l'eau et la qualité biologique.

ABSTRACT

Local authorities have the willingness to improve their small urban streams. This goes together with legal requirements including the European guidelines on water framework directive (2006/60/CE), which require the European member countries to reach a good ecological water quality by 2015.

Because of the major and multiple issues in living urban areas, and the restrictions relating to land availability, the diagnosis phase is a central requirement. A diagnosis methodology specifically adapted to urban streams has been developed. It can be divided into two levels, the first one being a simple inventory, inexpensive in terms of material, transposable to any other suburban stream, and requiring little material and support, while the second level is complementary to the first one, aiming at high impact sites, and requires more significant technical and financial supports, as well as a longer investigation period.

The main investigated domains are: physical environment, hydrology, water and biological qualities.

MOTS CLÉS

Hydrologie, qualité de l'eau, qualité biologique, milieu physique, mesure, modélisation

1 INTRODUCTION

Dans les dernières décennies, l'urbanisation s'est fortement développée à la périphérie des villes et a englobé les communes proches. Les ruisseaux et leur environnement ont subi des mutations progressives. Les actions de reconquête des petits cours d'eau en milieu urbain se multiplient. De nombreuses collectivités ont la volonté de faire des cours d'eaux urbains un élément à part entière du paysage urbain avec un rôle paysager, environnemental et social. Cette volonté sociétale s'accompagne d'exigences réglementaires parmi lesquelles la directive européenne dite Directive Cadre sur l'Eau (DCE), qui impose aux États membres l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau d'ici 2015. La démarche doit intégrer la qualité du milieu et les aspects sanitaires, la gestion des risques d'inondation par débordement et par ruissellement.

Afin de valoriser et de mieux intégrer le ruisseau dans le paysage urbain, différentes actions sont à entreprendre pour améliorer la qualité physico-chimique de l'eau en limitant les rejets de temps sec et de temps de pluie, pour mieux gérer le risque d'inondation lors des débordements du ruisseau et aussi pour améliorer le milieu physique (berges, végétation, lit mineur). Le résultat attendu est une amélioration globale de la qualité biologique et paysagère du ruisseau et de ses abords.

Compte tenu des enjeux importants et multiples dans des zones habitées, des contraintes liées à l'existant et à la disponibilité foncière, la phase de diagnostic est essentielle.

1.1 Contexte général

Les hydrosystèmes ont beaucoup souffert du développement anarchique de la ville et d'un mode de gestion des eaux pluviales très orienté vers une évacuation rapide par tuyaux. Les cours d'eau périurbains ont été fortement anthropisés. Cela se traduit par diverses dégradations telles que :

- Dégradations physiques : chenalisation voire canalisation, destruction de la ripisylve, modification des lits mineurs, remblais et constructions en lit majeurs.
- Dégradations de la qualité de l'eau : pollution en temps de pluie par les déversoirs d'orage, pollution en temps sec par de mauvais branchements.
- Modification du régime hydraulique : l'imperméabilisation des sols et l'évacuation des eaux de pluies entraînent une diminution du temps de concentration des bassins versants et rendent ainsi les ruisseaux plus sensibles aux épisodes pluvieux avec des crues rapides, des débordements fréquents et des vitesses fortes engendrant une érosion des berges importante. A l'inverse, lors des périodes de temps sec, un débit d'étiage très faible est souvent observé.

1.2 L'agglomération nancéienne

La situation et l'histoire de l'agglomération nancéienne, constituée de 20 communes et regroupant près de 270000 habitants, est indissociable de l'eau. Le site d'implantation de la ville de Nancy, construite sur d'anciens marais, est traversé par la Meurthe, que rejoignent de nombreux petits affluents traversant l'agglomération.

Le développement de l'urbanisation s'est fait au détriment des cours d'eau en les domestiquant, les canalisant, les masquant, pour des objectifs sanitaires et de protection contre les inondations.

La communauté urbaine du Grand Nancy a lancé en 2003 la réflexion « l'Eau dans la Ville », avec comme objectif de revaloriser la présence de l'eau sous ses différentes formes dans le paysage urbain. De nombreuses actions ont déjà concerné des aménagements de la Meurthe puis du canal de la Marne au Rhin, grands axes aquatiques structurants. Dans la continuité, avec le projet « l'eau dans la ville », la collectivité a décidé de développer des actions de valorisation des ruisseaux affluents de la Meurthe qui traversent l'agglomération et subissent de nombreuses dégradations. Quatre ruisseaux prioritaires, qui présentent un potentiel de valorisation ont été identifiés, Grémillon, Fonteno, Prarupt et Frahaut sur lesquels des diagnostics ont été menés.

2 DEMARCHE

2.1 Diagnostic

La caractérisation de l'état initial du ruisseau et de son bassin versant a pour but d'évaluer le potentiel du ruisseau à travers trois volets distincts en combinant différentes approches :

- Volet hydrologique : diagnostic du fonctionnement hydrologique du cours d'eau, évaluation du risque d'inondation, évaluation de la fréquence des rejets du réseau d'assainissement unitaire et modélisation hydraulique.

- Volet qualité physico-chimique : mesures en continu de paramètres sur deux stations à l'amont et l'aval de la zone urbanisée et mesures ponctuelles sur le linéaire, à différents points pertinents. Ces campagnes permettent d'identifier l'origine des pollutions en temps sec et temps de pluie. Elles permettent également d'apprécier l'autoépuration dans le ruisseau.

- Volet qualité biologique et physique : choix des macroinvertébrés benthiques et des diatomées.

La démarche commence par un découpage en tronçons homogènes puis un état des lieux de chacun. Après cette tâche seulement, viendront les propositions d'aménagements visant à valoriser le ruisseau.

2.2 Propositions

Les objectifs de protection et de valorisation découlent des résultats de la phase de diagnostic. La cartographie des axes de contraintes (rejets, zones d'inondation, zones d'érosion...) et des enjeux (protection de l'eau et des milieux naturels, préservation des personnes, des biens et des usages) permet d'avoir une approche rationnelle et pragmatique. Les thèmes suivants sont traités : gestion des risques, qualité des eaux, potentiel biologique, soutien d'étiage, paysage et remodelage du lit mineur et du lit majeur.

3 METHODOLOGIE

Les ruisseaux urbains sont souvent dégradés dans leur environnement physique (lit mineur, lit majeur, ouvrages en béton, recalibrage, etc.) et aussi avec une qualité d'eau assez médiocre. De plus, les enjeux sont importants et les contraintes fortes, notamment vis-à-vis de la disponibilité foncière et de la prise en compte de l'existant ou des projets. Une méthodologie de diagnostic qui peut se décliner à deux niveaux a été imaginée :

- Un premier inventaire simple à réaliser, peu coûteux en matériel et transposable à tout type de cours d'eau périurbain, qui nécessite peu de matériel et de moyens.

- Un second niveau complémentaire, destiné aux sites à forts enjeux, avec des moyens techniques et financiers plus importants et une durée d'étude plus longue.

3.1 Premier niveau d'inventaire

Le travail commence par la découverte visuelle du cours d'eau, de la source à l'exutoire, en longeant également ses affluents. Le but est de connaître le linéaire exact du cours d'eau, ainsi que les sources de pollution possibles et les principaux aménagements lourds qu'il subit, sans oublier les parties souterraines souvent négligées.

3.1.1 Qualité physico-chimique de l'eau

Le SEQ Eau permet de classer la qualité et l'aptitude de l'eau suivant les usages ou fonctions par rapport aux résultats d'analyses obtenus sur différents paramètres. Les ruisseaux périurbains n'ont le plus souvent aucune utilité particulière en termes d'usages spécifiques à l'exception de la fonction « potentialités biologiques ». Cette dernière exprime l'aptitude de l'eau à permettre les équilibres biologiques lorsque les conditions hydrologiques et morphologiques conditionnant l'habitat des êtres vivants sont réunies. Elle est pertinente par rapport à la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau et aux problématiques de « trames vertes, trames bleues » relatives à la biodiversité en milieu urbain. La première étape, pour déterminer la qualité physico-chimique d'un cours d'eau, consiste à bien choisir les points de prélèvement. Le but est d'encadrer les sources de pollution potentielles, telles que des lotissements, des zones industrielles, des parties canalisées... Il est nécessaire de prélever en amont et aval de ces sites pour évaluer leur impact.

Il est conseillé de réaliser des prélèvements ponctuels en temps sec, c'est-à-dire après plusieurs jours sans pluie. Ces analyses permettent le plus souvent de détecter des sources de pollution continues (mauvais raccordement, défaut de fonctionnement du réseau...). Les prélèvements ponctuels de temps de pluie, à réaliser peu de temps après le début d'une pluie, sont beaucoup plus difficiles à réaliser.

Les paramètres à analyser sont en nombre réduit et permettent de caractériser un type de pollution ou bien un état du milieu aquatique étudié. On peut mentionner les mesures sur site de la température de l'eau et de l'oxygène dissous qui est un facteur clef qui détermine le peuplement en place dans les

écosystèmes aquatiques. Au laboratoire, on peut mesurer le pH, la turbidité de l'eau et l'azote organique et ammoniacal, caractéristique de rejets urbains non traités par des moyens alternatifs ou normalisés. Les résultats sont comparés avec les grilles de lecture tels que présentés dans le « système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau », appelé SEQ eau.

La chimie de l'eau va donner une indication sur le potentiel d'êtres vivants pouvant être présents dans le milieu aquatique étudié. Renouveler les mesures de temps sec plusieurs fois permet de confirmer les tendances constatées ou bien au contraire de mener des recherches complémentaires pour interpréter les phénomènes.

3.1.2 Qualité biologique

En France, plusieurs indicateurs, maîtrisés uniquement par des spécialistes, permettent de déterminer la qualité biologique d'un cours d'eau. On peut citer l'indice biologique global normalisé (IBGN), l'indice biologique diatomées (IBD), l'indice « poissons », l'indice macrophytes (IBMR) et d'autres encore. Dans le cadre d'une étude préparatoire, il est possible d'évaluer la qualité du milieu à partir des macroinvertébrés benthiques avec l'indice biotique belge (IBB) qui relève d'une norme belge de 1984. C'est un indice fiable, moins précis qu'un IBGN car il ne valorise pas les différentes variétés au sein d'un même groupe mais qui peut être réalisé par un non-expert qui a reçu une formation adaptée de courte durée, ce qui permet d'effectuer des campagnes plus nombreuses et judicieusement choisies par rapport à une recolonisation éventuelle de tronçons du ruisseau après une pluie par exemple.

Le but de l'échantillonnage consiste à rassembler la plus grande diversité faunistique représentative du milieu à étudier. On cherche ainsi à obtenir un bilan le plus complet possible des groupes d'organismes présents dans le cours d'eau à l'aide d'une technique d'échantillonnage. Pour arriver à ce résultat, la méthodologie du prélèvement consiste normalement à échantillonner huit microbiotopes différents dans le lit du ruisseau étudié et caractérisés par huit couples substrat/vitesse différents tels qu'ils sont définis dans la norme IBGN. Malheureusement, les cours d'eau étudiés sont anthropisés et ont ainsi perdu cette forte diversité de substrat et d'écoulement. C'est pourquoi, lors de prélèvements, on se limite à quatre couples substrat/vitesse différents.

L'indice biotique est déterminé grâce au tableau à double entrée de Tuffery et Verneaux (1967) ci-dessous.

	Groupes d'invertébrés classés par sensibilité décroissante à la pollution organique	Nombre d'individus	Nombre d'unités systématiques présentes					
			Pour A B C	Nombre total d'U.S				
				1	2 à 5	6 à 10	11 à 15	> 15
			Valeurs des indices					
Très polluo-sensible	A Ecdyonurides - Perles	> 1		7	8	9	10	
		1	5	6	7	8	9	
	B Phryganes à fourreaux	> 1		6	7	8	9	
		1	5	5	6	7	8	
	C Ancyles - Ephémères	> 2		5	6	7	8	
		2	3	4	5	6	7	
	D Odonates - Gammare - Aphelochelirus - Physe		3	4	5	6	7	
			2	3	4	5		
Peu polluo-sensible	E Sphoeriums - Sangsues - Notonectes - Aselles - Corise - Nèpes		1	2	3			
			0	1	1			
	F Tubificidés - Chironomides							
	G Erytales							

Figure 1 : Grille de Tuffery et Verneaux (indice biotique). U.S. = unité systématique

Les lignes horizontales correspondent aux groupes faunistiques rencontrés (classés en 7 catégories). Ceux-ci sont repris, de haut en bas, dans un ordre croissant de résistance à la pollution. Les groupes ne supportant qu'une faible altération de l'eau sont en haut du tableau de la figure 1. Les plus résistants à la pollution sont en bas du tableau. Pour les trois premiers groupes faunistiques (lignes A, B et C), il est nécessaire de savoir si l'on a une, deux ou plus de deux unités systématiques (U.S.) récoltées. L'indice varie de 0 à 10 et il est d'autant plus élevé que les espèces sensibles à la pollution

sont présentes dans les eaux étudiées et que le nombre d'U.S. est important. Ainsi l'indice biotique maximum 10 (= absence de pollution) est obtenu en présence d'au moins deux genres de Plécoptères (plus d'une U.S.) et d'un total minimum de 16 unités systématiques.

3.1.3 Qualité physique

Le « milieu physique » correspond à l'ensemble des paramètres qui interviennent dans l'architecture, la forme du cours d'eau et dans son fonctionnement hydrodynamique. La fiche de description du milieu physique qui a été réalisée est une simplification de celle créée par l'agence de l'eau Rhin-Meuse en 1995, adaptée au contexte urbain ou périurbain. La difficulté dans l'élaboration de la fiche simplifiée a été de trouver un système pour pouvoir déterminer la qualité. Une hiérarchisation, ainsi qu'un code couleur, ont été développés.

Les principaux composants intervenant dans le fonctionnement de la rivière sont pris en compte. Pour le lit mineur ce sont le type d'écoulement, la nature des fonds et la largeur. Pour le lit majeur, les prairies, zones imperméabilisées et aussi la largeur, tandis que les berges sont observées sur les aspects pentes, structures et ripisylve. A ce niveau, la problématique des débordements est uniquement abordée à partir d'observation de laisses de crues, de photographies et d'informations fournies par les riverains et les services techniques.


Fiche de description du milieu physique			
Repérage du site			
Tronçon n° 9			
Commune : Laneuveville			
Longueur du tronçon : 350 m			
Largeur plein bord : 20 m			
Largeur en eau : 4 m			
Morphologie			
<input checked="" type="checkbox"/> Rectiligne ou à peu près			
<input type="checkbox"/> Sinueux ou courbe:			
<input type="checkbox"/> Très sinueux :			
Nature des fonds			
Situation dominante		Situation secondaire	
Galets, graviers, blocs	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Sables	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Feuilles et branches	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Vases, argiles, limons	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Dalles ou béton	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Etat du lit mineur			
Profondeur	Écoulement	Encombrement	Largeur
Très variée <input type="checkbox"/>	Très varié <input type="checkbox"/>	Branchages <input type="checkbox"/>	Très variable <input type="checkbox"/>
Variée <input type="checkbox"/>	Varié <input type="checkbox"/>	Arbres tombés <input type="checkbox"/>	Variable <input type="checkbox"/>
Bas fond <input type="checkbox"/>	Turbulent <input type="checkbox"/>	Aucun <input checked="" type="checkbox"/>	Assez régulière <input checked="" type="checkbox"/>
Constante <input checked="" type="checkbox"/>	Cassé <input type="checkbox"/>	Détritus <input type="checkbox"/>	Très régulière <input type="checkbox"/>
	Constant <input checked="" type="checkbox"/>	Monstres <input type="checkbox"/>	
		Structure des berges	
		Naturel Enrochement / Remblai Béton / Palplanche	
Rive gauche		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rive droite		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Pente des berges	
		Rive Gauche	Rive Droite
Berges à pic (>70°)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Très inclinées (30 à 70°)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inclinées (5 à 30°)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Plates (<5°)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Végétation des berges	
		Rive Gauche	Rive Droite
Ripisylve 2 strates		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ripisylve 1 strate		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Herbacée (prairie, friches)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Exotique		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ligneux plantés		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Absence ou cultures		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Etat de la ripisylve	
Bon ou sans objet : entretenu		<input checked="" type="checkbox"/>	
Défaut d'entretien		<input type="checkbox"/>	
Trop de coupe		<input type="checkbox"/>	
Envahissant le lit		<input type="checkbox"/>	
Perchée		<input type="checkbox"/>	
Annexes	Ruisseau du PRARUPT	Annexes	Ruisseau du PRARUPT

Figure 2 : Extraits d'une fiche de synthèse de description du milieu physique. Pour chaque paramètre, les critères sont classés du haut (bonne qualité) vers le bas (mauvaise qualité). Ici, un tronçon aval du Frahaut.

3.1.4 Bilan du premier niveau d'inventaire

Ce système d'évaluation très rustique ne fait pas appel à des experts mais simplement à des généralistes ayant reçu une formation de courte durée. Il ne nécessite pas de moyens importants et permet d'effectuer un bilan de l'état du ruisseau à partir d'observations ponctuelles. Il est objectif dans la collecte et le traitement des données, applicable à des tronçons homogènes de ruisseau de longueur variés et opérationnel à faible coût. Il permet d'identifier les priorités en vue d'études

complémentaires ou d'une programmation de travaux. L'utilisation des fiches nécessite seulement un peu d'expérience et de l'objectivité, sans être un « expert ». Il en va de même pour l'évaluation de la qualité biologique.

Ce niveau d'observation simplifié n'est absolument pas suffisant pour traiter de la problématique des crues lorsqu'elle représente un enjeu important et d'autre part certains phénomènes d'évolution de la qualité de l'eau nécessitent des mesures en continu pour être quantifiés et compris.

3.2 Compléments d'étude sur la qualité de l'eau du ruisseau

Parmi les quatre ruisseaux étudiés, le Grémillon a fait l'objet d'un diagnostic complet dont certains résultats sont utilisés pour illustrer ce chapitre et le suivant. L'étude des phénomènes de temps de pluie, très variables dans le temps, a justifié la mise en place de deux stations de mesure en continu, de la qualité de l'eau, la première caractérisant les apports de la partie amont (occupation du sol agricole et forestière principalement) et la seconde en aval pour connaître les apports de la partie urbanisée. Ces stations permettent de réaliser des mesures en continu sur différents paramètres représentatifs des pollutions rencontrées (température, pH, conductivité, oxygène dissous, azote ammoniacal caractéristique de la pollution urbaine et nitrates caractéristiques de la pollution agricole). Elles sont également équipées de préleveurs automatiques asservis à des pluviomètres, permettant si nécessaire d'analyser les prélèvements faits à pas de temps fixes. A proximité de chacune de ces stations de mesure, les débits sont mesurés en permanence par l'intermédiaire de limnimètres (ultrasons aériens) couplés temporairement avec des vélocimètres. Le suivi permanent, réalisé grâce à ces deux points de mesure en continu, est complété par des campagnes de prélèvements ponctuels sur tout le linéaire du ruisseau, depuis sa source jusqu'à son entrée dans le réseau de collecte.

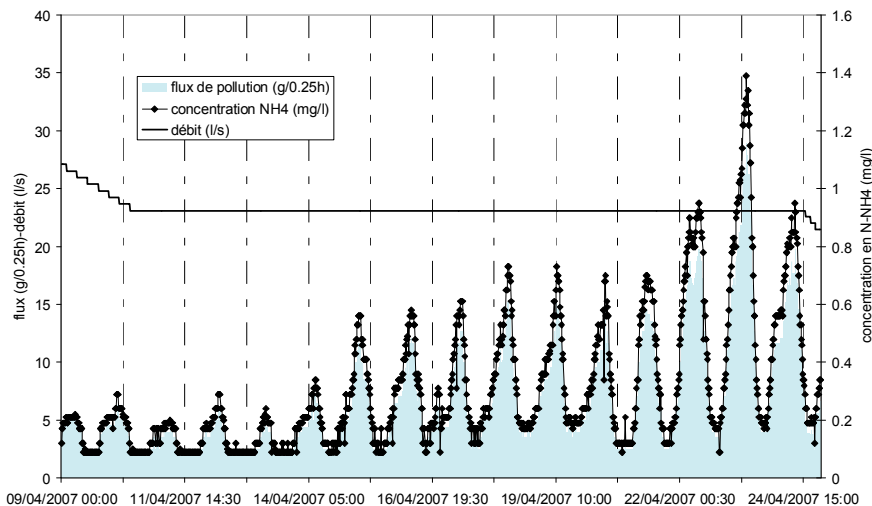


Figure 3 : Station de mesure à l'aval du ruisseau du Grémillon. Evolution des débits, des concentrations et flux en azote ammoniacal pour la période de temps sec du 9 au 24 avril 2007.

Nous avons choisi de présenter les résultats pour le paramètre « azote ammoniacal », qui est un traceur pertinent de la pollution urbaine dans la mesure où les temps de séjour sont brefs et ne permettent pas une oxydation importante des eaux usées. Le suivi longitudinal à partir de mesures ponctuelles a été utilisé pour pré-identifier les zones d'apport sur le linéaire du ruisseau lors de la campagne de prélèvements. Cependant un tel suivi n'est pas suffisant pour avoir une idée de la dynamique des phénomènes.

Les mesures permanentes sur la station aval pour évaluer l'incidence de la zone urbanisée sur la qualité de l'eau étaient initialement prévues pour le temps de pluie. Après plus d'une année d'observation, l'exploitation des résultats a permis de mettre en évidence la dynamique des interactions entre le réseau de collecte des eaux usées et le ruisseau lors des périodes de temps sec. A partir des mesures réalisées, nous avons mis en évidence plusieurs typologies de profils d'évolution de la qualité de l'eau en temps sec qui correspondent à des situations différentes sur le réseau de collecte.

La figure 3 présente une évolution progressive des flux déversés. Pendant les cinq premiers jours, du

9 au 14 avril, la situation est usuelle avec des cycles journaliers peu importants. Puis, à compter du 14 et jusqu'au 25 avril, on observe une augmentation régulière et cyclique des concentrations et des flux transités par le ruisseau. Cet enregistrement permet de constater la dynamique de sédimentation dans le réseau en temps sec. L'augmentation progressive des dépôts dans les secteurs favorables à la sédimentation réduit la capacité hydraulique du réseau unitaire localement insuffisant sur le plan hydraulique.

Seule la mesure en continu peut apporter ce type d'information, indispensable dans le cadre d'un diagnostic complet. On peut évaluer l'efficacité des actions qui seront entreprises pour régler ce problème de la même manière, sur un cycle d'observation long.

3.3 Hydrologie et modélisation hydraulique

L'objectif de ce volet du diagnostic est de déterminer les zones soumises à un risque potentiel de débordement, la fréquence de ces débordements et la localisation des zones soumises à une érosion forte. L'identification des zones soumises à un risque d'érosion est réalisée par l'observation de terrain. Pour le diagnostic des zones de débordement, en l'absence de données suffisantes sur les événements d'inondation observés, la réalisation d'une étude hydrologique (détermination des débits de pointe dans le ruisseau pour différents types de pluies) et d'une étude hydraulique (modélisation des débordements) est nécessaire.

Au regard des études plus classiques de modélisation de rivière dans l'objectif de la prévention des inondations, l'échelle réduite de l'étude est problématique. De plus, le ruisseau urbain alterne des passages busés et des passages à ciel ouvert, et l'on y trouve de nombreux ouvrages et particularités à prendre en compte (apports latéraux du réseau d'eaux pluviales, diffluence, confluence, bras de décharge...). Les singularités hydrauliques ne peuvent pas être négligées car elles ont une influence importante à une telle échelle d'étude. De même, les apports du réseau d'eaux pluviales le long du linéaire ont a priori un fort impact sur les écoulements dans le ruisseau. Le contexte périurbain est assez complexe, le ruisseau ne pouvant pas être assimilé à une rivière naturelle à cause des apports importants du réseau d'assainissement. Il ne peut pas pour autant être assimilé à une branche du réseau d'assainissement à part entière. Les ruisseaux urbains sont des objets « mixtes », tant sur le plan de l'hydrologie que de l'hydraulique, avec un bassin versant fortement urbanisé mais aussi des apports naturels plus ou moins modifiés.

Une autre difficulté concerne l'absence de station hydrométrique pour évaluer la période de retour des débits de pointe. Le bassin versant qui est la combinaison de zones naturelles et urbanisées avec des réponses différentes lors des pluies et de nombreux ouvrages singuliers est complexe à appréhender. Ce contexte peut causer des difficultés pour trouver un modèle d'écoulement adéquat ainsi que pour caler le modèle.

La démarche proposée est un pis-aller, tentant d'exploiter au maximum les données disponibles. Les résultats donnés par cette démarche doivent être considérés avec précaution.

3.3.1 Etape 1 : Modélisation détaillée du système d'assainissement.

Cette modélisation du réseau, réalisée avec le logiciel de modélisation hydraulique de la collectivité, permet à partir de pluies de projet ou de pluies réelles enregistrées par les différents pluviomètres de l'agglomération, de simuler les écoulements et les apports du réseau dans le ruisseau qui est décrit dans ce modèle comme un canal trapézoïdal dans ses parties à ciel ouvert et une canalisation circulaire dans ses parties enterrées. La modélisation permet donc en particulier d'identifier des zones où les capacités des collecteurs sont insuffisantes et les différents apports. Un calage avec plusieurs pluies réelles récentes est indispensable.

3.3.2 Etape 2 : Modélisation hydraulique du ruisseau.

Elle est nécessaire car elle seule prend en compte la topographie précise du lit mineur et du lit majeur du ruisseau et les singularités hydrauliques sur le linéaire du ruisseau (bras de décharge, diffluences, seuils, rétrécissements,...) ce qui permet de préciser les désordres identifiés. La modélisation du ruisseau permet, à la suite du diagnostic, de tester l'efficacité des propositions d'aménagements sur le plan hydraulique. Les éléments présentés en figure 4 synthétisent la méthodologie et les principaux résultats du diagnostic de l'aléa inondation.

Ce modèle sera aussi indispensable pour décrire le fonctionnement hydraulique pour des événements de différentes périodes de retour, jusqu'à la centennale et ensuite tester les impacts des différents aménagements envisagés sur le risque de débordement.

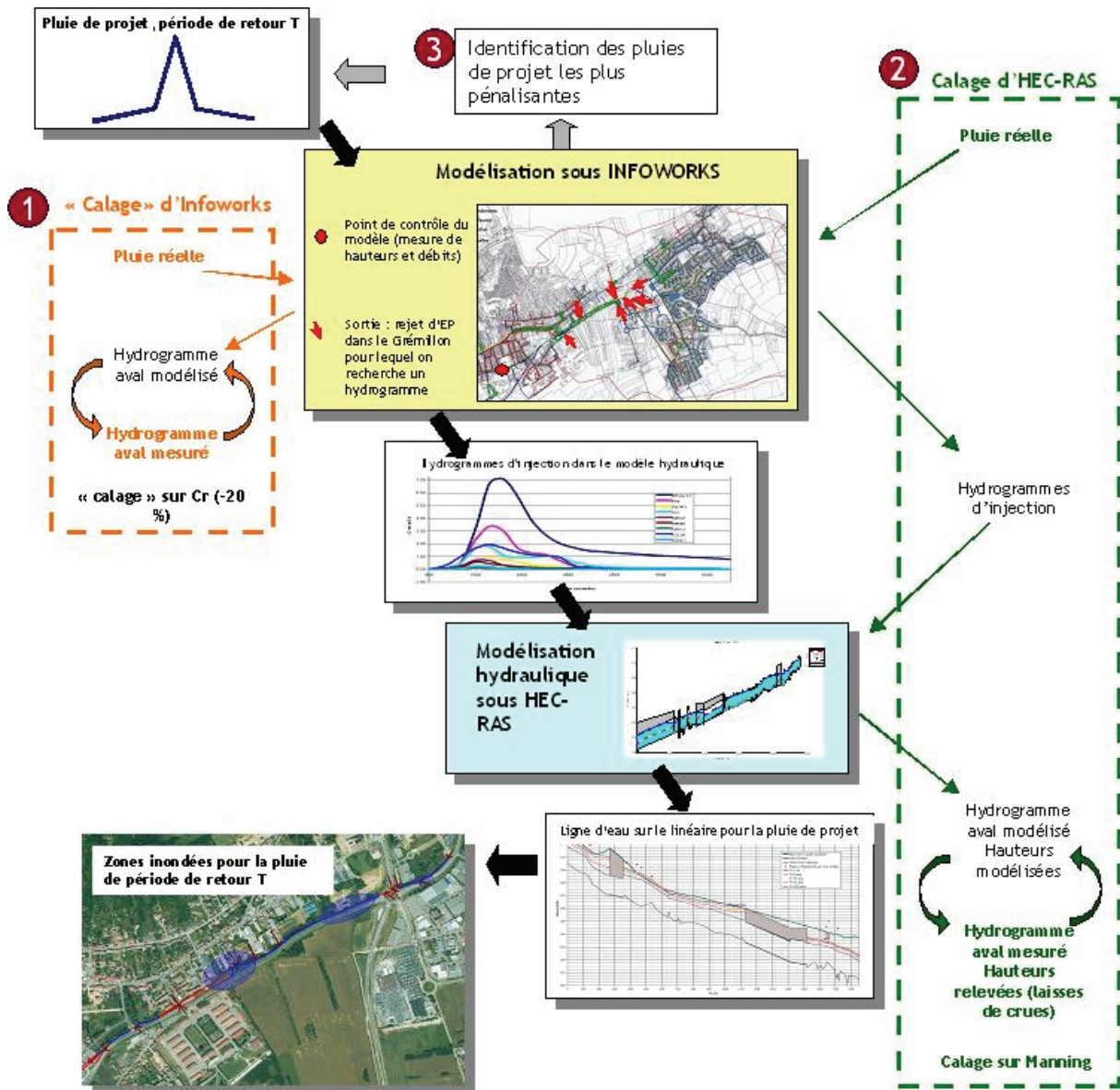


Figure 4 : Démarche de calage pour modélisation hydraulique

Pour réaliser une modélisation hydraulique du ruisseau, il faut au minimum disposer d'une topographie fine du linéaire du cours d'eau, d'enregistrements de pluies et d'écoulements réels permettant le calage et des hydrogrammes de pluies de projet pour différentes périodes de retour.

Les étapes principales de la démarche ne diffèrent pas d'une étude classique de modélisation de cours d'eau, mais ce sont les données disponibles et les outils utilisés qui sont particuliers. Le bassin versant d'un ruisseau urbain ne peut pas être considéré comme un bassin versant classique. Il faut combiner l'hydrologie des zones « naturelles » ou « agricole » à l'influence des zones imperméabilisées et du système d'assainissement.

Les caractéristiques du ruisseau (écoulements principalement unidimensionnels, changements fréquents de régime hydraulique) et les besoins suscités ont fait opter pour le choix du logiciel HEC-RAS, dans la version 4.0 Beta. Cette version Beta a été créée dans le but de simuler des écoulements en régime transitoire et torrentiel, ce que les versions antérieures ne peuvent pas effectuer. Ce modèle, développé par l'US Army Corps of Engineers, permet de travailler en régime permanent ou transitoire, en régime fluvial ou torrentiel. Il est performant et de plus dans le domaine public donc

gratuit. Il est basé sur les équations de Saint-Venant. En parallèle a été testée une modélisation sous un autre logiciel de modélisation hydraulique 1D, le logiciel Fudaa-Mascaret développé par EDF. Cette démarche a permis de comparer les résultats de la modélisation hydraulique du cours d'eau obtenus avec ces deux logiciels, à partir des mêmes données de topographie et de débits.

Le calage s'effectue sur les coefficients de rugosité (Manning) des lits mineur et majeur. Le repérage de nombreuses laisses de crue a permis de bien ajuster les coefficients de rugosité pour chaque tronçon du linéaire. La différence moyenne entre les laisses de crue et les hauteurs d'eau calculées est de 10 cm environ. On observe néanmoins quelques différences au niveau des lignes d'eau, principalement au droit des ouvrages et des singularités du profil. Les écarts sont souvent au droit des ouvrages, et ce sont justement ces singularités qui sont à l'origine des débordements potentiels. Le diagnostic est donc problématique. Toutefois, on peut considérer que si l'un des modèles uniquement identifie un débordement potentiel, il est prudent de considérer la zone considérée comme étant soumise à un aléa d'inondation.

Le calage de la modélisation hydraulique intègre les erreurs dues à l'utilisation du modèle « réseau » pour estimer les hydrogrammes d'injection. **Les bons résultats obtenus tendent à montrer que malgré l'ensemble des erreurs ou approximations commises, la démarche générale permet de modéliser correctement les phénomènes observés.**

3.3.3 Etape 3 : Estimation des débits caractéristiques

La simulation des zones de débordement pour différentes périodes de retour nécessite de connaître des hydrogrammes d'apport correspondant à ces périodes de retour. Les débits caractéristiques du ruisseau peuvent être approchés à l'aide de méthodes simplifiées à l'exutoire de son bassin versant, en exploitant les enregistrements des limnimètres disponibles ici pour 20 années de mesures. Les méthodes simplifiées classiques de l'hydrologie peuvent être testées sur le bassin versant pour l'estimation du débit de pointe décennal. Toutefois ces méthodes ne prennent pas en compte les particularités liées à l'urbanisation du bassin versant et elles sous estiment fortement le débit de pointe associé à une période de retour.

De plus, les méthodes statistiques ne permettent que d'obtenir un ordre de grandeur des débits de pointe en aval du ruisseau. Elles ne permettent pas de disposer des hydrogrammes de projet et n'intègrent pas la répartition des apports sur l'ensemble du linéaire.

	Approche statistique	Réservoir linéaire	Méthode SOCOSE	Méthode CRUPEDIX	Méthode SOGREAH
Q₁₀ en m³/s	10.1	11.4	4	4	4
Domaine de validité	Analyse de 20 années de mesures	Surface < 5000 ha	Bassin naturel 200 ha < Surface < 200 000 ha		

Figure 5 : Comparaison des débits décennaux obtenus par les différentes méthodes

Le débit de pointe décennal du Grémillon, de l'ordre de 10 m³/s, estimé par une méthode statistique basée sur les 20 années de données disponibles et sur les résultats d'une modélisation hydraulique détaillée peut être comparé avec les résultats obtenus pour un bassin versant de même superficie mais naturel (de l'ordre de 4 m³/s). **L'impact de l'urbanisation du bassin versant du ruisseau est nettement mis en lumière** : les débits de pointe ont été plus que doublés avec l'augmentation des surfaces imperméabilisées et l'artificialisation des écoulements.

L'estimation des débits caractéristiques qui prend en compte l'urbanisation, le mode de gestion des eaux pluviales et son incidence sur les crues est entachée de nombreuses incertitudes liées à la complexité des sites, à leur évolution permanente, aux périodes d'observation courtes et aussi bien souvent au manque de données disponibles. Il est cependant essentiel de construire une démarche qui va permettre d'estimer et de justifier les valeurs de ces débits caractéristiques réels.

3.3.4 Caractéristiques des pluies de projet

La détermination des caractéristiques des pluies de projet a fait l'objet d'une analyse particulière. D'ordinaire on retient que pour une période de retour donnée, les pluies les plus pénalisantes sont

celles de durée égale environ au temps de concentration du bassin versant. Ceci est exact pour un bassin versant relativement homogène en termes d'occupation du sol. Pour un bassin versant mixte, fortement imperméabilisé sur sa partie aval, cette approximation ne peut être faite. On ne sait pas a priori si les pluies qui vont produire les débits les plus élevés sont des pluies très courtes et très intenses (dans ce cas le débit de pointe sera pratiquement uniquement produit par une partie des surfaces imperméabilisées), ou des pluies relativement longues qui sollicitent l'ensemble de la surface du bassin versant. Différents types de pluies ont donc été injectés dans le modèle « réseau » afin d'identifier quelle durée et quelle forme de pluie produisent les débits de pointe les plus importants dans le ruisseau.

4 CONCLUSION

Les ruisseaux urbains et périurbains sont des milieux aquatiques particulièrement fragilisés par les différentes altérations qu'ils subissent, dans leur environnement physique (bassin versant, lit mineur et majeur), leur régime hydrologique (incidence du développement urbain sur les crues et les étiages) et en ce qui concerne la qualité de l'eau (rejets divers). Dans le même temps, ils représentent un potentiel valorisable dans le paysage urbain ou la place de l'eau et des espaces « naturels » est assez limitée. Il y a là des enjeux importants pour les citoyens. Le domaine est assez nouveau, complexe car à l'interconnexion de différents usages, avec des enjeux importants (les inondations), des contraintes fortes héritées d'une époque où l'on pensait dompter l'eau avec des ouvrages hydrauliques très contraignants.

Avant d'agir sur ces milieux aquatiques pour les faire évoluer vers les attentes environnementales et écologiques actuelles il importe de prendre le temps de réaliser un diagnostic global adapté aux enjeux et au contexte. Les propositions d'aménagement et de travaux pourront concerner le ruisseau lui-même sous différents aspects, mais aussi par exemple le mode de gestion des eaux usées et pluviales sur le bassin versant et les déplacements.

5 REMERCIEMENTS

Remerciements au Grand Nancy (services de l'Hydrologie Urbaine) qui a permis la réalisation de cette opération de recherche et aux stagiaires, techniciens, ingénieurs et chercheurs du GEMCEA et de ses partenaires pour leur collaboration active à cette passionnante étude. Remerciements particuliers à Alice NERON, Nadège LAURENT, Xavier GRANDJEAN et Thierry DEVILLARD.

BIBLIOGRAPHIE

Néron A, Pons M-N, Battaglia P, Laurent N et autres (2009). Étude du comportement d'un ruisseau péri urbain (GREMILLON); Diagnostic et propositions d'aménagement. Rapport d'étude GEMCEA, 122 pages.

P. Battaglia, MN. Pons, A. Néron, F. Dassonville, N. Laurent, X. France (2009). Revalorisation d'un ruisseau périurbain : apport de la mesure en continu pour un diagnostic qualitatif. Colloque STIC et environnement à Calais du 16 au 18 juin 2009, 8 pages.

Grandjean X (2008). Etude hydrologique et hydraulique d'un ruisseau périurbain de l'agglomération de Nancy (54) : le Grémillon. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES, École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement, juin 2008. 121pages.

Rodrigues Lopez N., Hugain J-M., Néron A., Laurent N., Pons M-N., Battaglia P. (2007) : « Modélisation du comportement d'un ruisseau périurbain ». 7ème Congrès International. Suivi et devenir des contaminants dans l'environnement, Traitement, analyse, qualité et gestion durable. GRUTTEE (octobre 2007), p221 à 224.

Néron A., Dalaine L., Calin C., Carrey A., Pons M-N., Battaglia P. (2007). Analyse du fonctionnement d'un ruisseau périurbain en vue de sa valorisation. 6ème Conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Colloque NOVATECH'2007, 8 pages.

Institut Belge de normalisation. Norme NBN T92-402 (1984). Qualité biologique des cours d'eau. Détermination de l'indice biotique se basant sur les macros invertébrés aquatiques. Éléments disponibles sur le site: www.insektor.be

Verneaux J. et Tuffery G. (1967). Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. Annales des sciences. Université de Besançon, 3: 79-89.