



### *ACTION N°8.1 : L'utilisation des ressources alternatives à l'eau potable en ville : Les enjeux sanitaires et environnementaux*

#### CONTEXTE

La raréfaction des ressources en eau et la dégradation de leur qualité sont un défi majeur du XXI<sup>e</sup> siècle. La France, bien qu'elle possède des réserves en eau importantes, n'est pas exempte de ces problèmes. Comme la plupart des pays industrialisés, la France prélève des grandes quantités d'eau de ses rivières et de ses nappes phréatiques à des fins d'approvisionnement en eau potable, mais aussi pour des processus industriels, de nettoyage et d'irrigation qui, en principe ne requièrent pas une qualité élevée. Ces processus pourraient être satisfaits par de l'eau de moindre qualité comme de l'eau brute, l'eau de pluie ou de l'eau recyclée comme les eaux usées traitées. A l'instar de l'eau de pluie récupérée sur les toitures et utilisée pour les chasses de toilettes ou le nettoyage, des ressources alternatives à l'eau potable pourraient être utilisées pour des usages urbains tels que l'arrosage des espaces verts ou le lavage des chaussées.

En Europe 1 milliard de m<sup>3</sup> (2,4%) d'effluents traités sont réutilisés, principalement dans les pays du Sud comme l'Espagne, l'Italie et la Grèce. Les applications sont principalement en agriculture (75%), mais d'autres usages comme l'arrosage (8%) ou l'eau industrielle (8%) ont déjà été développés. En France le recyclage se limite à l'épandage agricole (Clermont Ferrand, Achères, ...) ou l'irrigation des terrains de golf. Les pays du Nord sont intéressés principalement par la réduction des effluents, le développement durable urbain et industriel, et la diminution de pénurie d'eau dans les zones du tourisme côtier. Les pays du Sud agissent principalement dans l'objectif d'augmentation de la ressource en eau pour l'agriculture et les besoins du tourisme. Le recours à « l'eau alternative » permet non seulement de préserver les ressources naturelles, en évitant un prélèvement complémentaire, mais améliore aussi la durabilité du système urbain en limitant les consommations d'énergie nécessaires au captage et au traitement, ainsi que celles d'azote et de phosphore (lorsque les eaux usées sont réutilisées pour l'arrosage ou l'irrigation).

Si on prend l'exemple classique d'utilisation de l'eau, on part d'une utilisation linéaire de l'amont vers l'aval, passant par traitement /potabilisation – utilisation – traitement / assainissement. La réutilisation agricole peut dans ce système être vue comme un pas ultime de traitement ou de valorisation des effluents. Un usage urbain cependant, oblige de repenser la trajectoire de l'eau. Le retour de l'eau en ville demande un système de distribution spécifique. Seules les villes avec un stress hydrique très fort comme Madrid possède un tel système, allant jusqu'à une véritable réutilisation urbaine de l'eau. L'utilisation des effluents urbains traités demande incontestablement une adaptation des usages et de leur organisation. On peut constater que historiquement il existe des habitudes d'utilisation des qualités d'eau différentes pour des usages différents. Cette habitude a été fortement rationalisée dans les zones urbaines, par l'utilisation d'un réseau d'eau brute. En France on peut citer des villes comme Nice, Lyon et Paris, la dernière ayant décidé sous l'impulsion de la re-municipalisation de ses services d'eau, de réhabiliter et d'étendre l'utilisation de son réseau d'eau non potable. Les communes de la petite couronne comme l'agglomération Plaine commune sont en train de suivre. On peut ainsi postuler que pour l'usage d'eau non potable en zone urbaine, un système spécifique de distribution est indispensable et que l'état du stress hydrique déterminera le degré d'utilisation des ressources alternatives, degré allant de l'utilisation de l'eau brute aux eaux usées traitées.

La réutilisation de l'eau dans un système urbain complexe, peut d'une part améliorer son empreinte écologique et d'autre part sa résilience hydrique face aux aléas du changement climatique. Le projet RExHySS (2009) portant sur l'impact des changements climatiques sur les ressources hydriques en Ile-de-France, a permis de montrer qu'en termes des débits, les crues devraient être plus importantes en hiver, mais les étiages seront aussi bien plus sévères qu'à l'heure actuelle. Ainsi pendant la saison estivale où les besoins en eau sont les plus forts, l'Ile-de-France pourrait connaître des pénuries d'eau. Le plan de gestion de la rareté de l'eau, présenté en octobre 2005, met l'accent sur la mobilisation de ressources alternatives, parmi lesquelles l'eau de pluie et la réutilisation des eaux usées traitées.

La réutilisation (des effluents traités) est explicitement inscrite dans la Loi sur l'eau de 1992 (article 35), mais ce n'est qu'en 2010 qu'un arrêté (2 août 2010) a fixé les prescriptions sanitaires et techniques applicables à l'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation de cultures ou d'espaces verts. L'arrêté vise à garantir la protection de la santé publique, de la santé animale et de l'environnement ainsi que la sécurité sanitaire des productions agricoles dans le cadre de cette pratique,

Sur le plan européen on peut citer le projet Aquarec (FP6, 2006) qui fait le tour des pays européens. Le projet avance quelques pistes intéressantes de réflexion sur la modélisation des coûts de la réutilisation. Bien que des projets de recherche d'envergure sur la réutilisation des eaux usées traitées manquent en France, on peut citer le projet REEBiM - Réutilisation d'Eau usée Epurée par association de procédés Biologiques et Membranaires (PRECODD 2006) dont l'objectif est de proposer, concevoir et valider de nouveaux procédés utilisant des techniques membranaires permettant la réutilisation des eaux usées. Le projet se focalise sur les technologies de traitement en laissant de côté les aspects socio-techniques comme la question « quelle qualité pour quel usage », la perception par les usagers, les enjeux de santé publique, la gestion des multiples réseaux et les coûts environnementaux....

En 2010 a été lancé par le LEESU le projet Flux et reflux, dans le cadre du programme interdisciplinaire de recherche sur la ville et l'environnement (PIRVE) du CNRS. L'objectif du projet est d'élaborer un cadre méthodologique multidisciplinaire pour étudier l'utilisation des ressources alternatives à l'eau potable comme celle de l'eau usée traitée en milieu urbain en l'Ile de France. Le projet PIRVE a d'ores et déjà identifié deux terrains de recherche qui se superposent, celui du réseau de l'eau non potable de la ville de Paris et sa petite couronne et celui des usages des eaux non potables en zone urbaine, densément peuplée.

## OBJECTIFS

---

L'objectif principal du projet est d'étudier les usages d'eau non potable à Paris et sa proche banlieue pour pouvoir proposer des modèles possibles d'utilisation des ressources alternatives à l'eau potable en milieu urbain

Les objectifs secondaires sont d'évaluer pour certains usages non potables « type » i) la quantité et la qualité d'eau nécessaire, ii) la transformation de l'eau au cours de son usage, iii) les risques sanitaires potentiels pour les usagers directs et indirects iv) indication sur les coûts environnementaux et de production pour enfin obtenir des entrants pour les modèles à établir

## METHODOLOGIE ET PLANNING

---

D'après le rapport d'APUR (2011) et des données de la Ville de Paris les usages urbains qui demandent les volumes les plus importants sont le nettoyage des surfaces urbaines et l'arrosage des espaces verts. On pourrait estimer leur volume à 80% des besoins urbains en eau NON potable.

Les sources alternatives « pérennes », à Paris et sa banlieue proche, concernent principalement l'eau brute de rivière, l'eau d'exhaure et l'eau usée traitée.

On part de l'hypothèse que pour pouvoir proposer un modèle d'utilisation cohérent il est nécessaire d'avoir une connaissance plus approfondie de l'usage incluant aussi bien les aspects techniques, que sanitaires et sociologiques.

### 1. Etude quantitative :

A l'heure actuelle un certain nombre des données existe sur les volumes d'eau utilisée pour des activités de nettoyage et d'arrosage. Cependant ces données ont besoin d'être validées et d'être mises en cohérence. La validation pourrait être faite par comparaison avec des données bibliographiques, des données d'autres villes ou par une estimation in situ. Ce travail devrait aboutir à un ensemble de coefficients d'usage, exprimé en m<sup>3</sup> d'eau utilisée par m<sup>2</sup> surface traitée (nettoyée ou arrosée) par an. En outre l'impact des variables comme la saison ou la technique utilisées, devront être déterminés.

## **2. Etude qualitative**

Un certain nombre des données de qualité d'eau (brute) sont disponibles d'auprès producteurs et distributeurs Eaux de Paris, Ville de Paris et le Sedif. Des données sur les effluents des STEP sont disponibles d'auprès le SIAAP. A l'heure actuelle il nous n'est pas connu si des données de qualité sur l'eau d'exhaure existent.

Dans un deuxième temps une meilleure connaissance des ressources alternatives devrait être obtenue par prélèvement in situ et analyse au laboratoire. Les mesures physico chimiques de d'intérêt pour les usages suivis comprennent le pH, conductivité, turbidité, dureté, MES, COT / CIT, nitrates et phosphates. Pour les pathogènes ne seront retenus que les streptocoques fécaux (E.Coli) et les entérocoques intestinaux. La méthode des microplaques Colilert ou MUD/SF, développée pour l'analyse de plusieurs types d'eaux, notamment celles de surface et les eaux résiduaires, nous paraît la plus adaptée car elle ne nécessite ni un équipement, ni une formation spécifique.

Le suivi de l'évolution de la qualité au cours de l'usage, d'amont (eau non potable) vers aval (eau s'écoulant de chaussés ou des espaces végétalisées) permet d'une part faire un liens entre qualité et usage et d'autre part mieux évaluer les expositions. En outre la comparaison entre utilisation faite avec de l'eau potable et de l'eau non potable donnerait des indications complémentaires sur les risques du à la « non potabilité » des eaux.

La représentativité des prélèvements devrait recevoir une attention particulière. Pour l'arrosage c'est par exemple la détermination de la contamination ou non des espaces végétalisées, son évolution dans le temps, pour le nettoyage c'est la détermination des concentrations dans les aérosols.

La détermination de qualité permettra par ailleurs (dans une phase ultérieure) la modélisation de la propagation des certains éléments chimique et / ou micro-biologique à travers du réseau à partir des entrées des différentes ressources alternatives. Des models hydrauliques pour un réseau ramifié comme EPANET (EPA 2000) pourront être utilisé pour cette tâche. Ce travail débouchera à moyen terme sur des considérations de l'évolution de la qualité de l'eau dans le RENP en fonction des flux la composant.

## **3. Evaluation des risques sanitaires**

L'évaluation des risques comporterait dans notre cas trois étapes :

I) Identification des agents potentiellement dangereux, qui se résumera principalement à l'obtention ou détermination des concentrations des organismes indicateurs de contamination pathogène comme E. Coli

II) Evaluation des expositions qui permet d'identifier les populations qui ont été, sont, ou seront en contact avec l'agent potentiellement dangereux (le cas d'arrosage : visiteurs et jardiniers, dans le cas de nettoyage : passants et techniciens de nettoyage) ainsi que les voies, niveaux et durées d'exposition correspondants. Les expositions seront déterminées par observation in situ et par enquêtes terrain avec des populations cible.

III) Estimation du risque qui constitue d'une synthèse des étapes précédentes. Cette étape se fait actuellement par biais des calculs avec des logiciels de Human Health Risk Assessment (EPA ORNL, Université de Tennessee, etc). Ces logiciels utilisent les concentrations aux quelles les populations sont exposées (données E. Coli dans les eaux alternatives disponibles ou déterminées dans la phase 2), les voies d'exposition et les type de population (données collectées par enquête dans la phase 3) et les relie à l'aide d'un modèle épidémiologique. Un travail pionnier en France a été fait par les étudiants de l'EHESP en 2010 sur la réutilisation des effluents traités pour l'arrosage des espaces verts.

Le travail des statistiques des données devrait être fait en collaboration avec de partenaires comme ANSES ou EHESP. Des contacts ont été pris avec les deux institutions, cependant la collaboration pas encore formalisée.

## **4. Modèle pour l'utilisation des ressources alternatives**

Une première analyse de la réutilisation de l'eau en Ile-de-France (ORSID 2006, APUR 2011, Huecande 2011) montre trois ressources principales : Eau brute, eau d'exhaure et eaux usées

traitées. A Paris est pratiqué actuellement un modèle centralisé, bilinéaire, utilisant de l'eau potable et de l'eau non potable (RENP). Les auteurs cités ci-dessus mentionnent la possibilité de rebouclage partiel des ressources, pour arriver à des modèles circulaires, pratiqués par exemple par les villes comme Madrid.

Dans cette étape il s'agit d'utiliser les données des étapes précédentes pour proposer des scénarios d'utilisation (modèles) des ressources alternatives et d'évaluer les contraintes (physiques, sanitaires et si possible environnementales) de chaque modèle. Une première approche sera faite avec des diagrammes de Sankey, suivi par analyse de flux (MFA). Dans une phase ultérieure cet aspect pourra être renforcé par les estimations des indicateurs écologiques comme empreinte écologique (eau) ou émission du dioxyde de carbone (bilan carbone).

Une fois la « modélisation » pour la zone centrale aura avancé, des solutions complémentaires pourront être testés pour la zone périphérique sous forme des solutions hybrides : centralisé / décentralisé, symbiose industrielle etc.

### **Avancement**

Un travail de bibliographie et de collecte des données sur les thématiques de l'action, a été entamé en 2011 par un stage recherche en Master 2. Le travail sur les risques sanitaires a été déjà amorcé fin 2011 dans le cadre des projets Multidisciplinaires par les étudiants du Master 2 SGE SAGE. Le travail se poursuit en 2012 par un stage en Master 2 orienté usages et modèles.

Le projet PIRVE Flux et Reflux se terminera à la mi 2012 et donnera plusieurs éléments pour formaliser encore plus le corpus de cette action. Citons en outre des stages de Master, mission de terrain par des chercheurs de Leesu à Madrid, une de rare ville européenne, pratiquant la REUT urbaine et l'enquête en-ligne sur les orientations de recherche scientifique en REUT.

Le travail quali / quantitatif sur les ressources alternatives pourrait faire objet d'une thèse en qualité des eaux ; profil chimie de l'eau, combiné avec (micro)biologie ou santé. Le thésard devra pouvoir mener à bien l'ensemble des phases en collaboration avec un chargé de recherche et des stagiaires en Master pour aboutir à un model d'usage cohérent. Le travail se pourra faire en collaboration avec d'autres équipes franciliens travaillant sur des sujets similaires (Pirve – Sabine Barles, Piren - Gilles Billen). Si les travaux du master 2 sont concluants cette thèse pourra s'enchaîner.

Un échange méthodologique autour de la qualité et les usages se fera avec l'action 8.3 – « Caractérisation de la qualité des eaux alternatives stockées ». Des aspects de perception du risque pourront être travaillé conjointement avec l'action 8.2 – « Sociologie des alertes », tandis que la mise en perspectif de la réutilisation pourra bénéficier des travaux de l'action 9.1- « Vers une eau propre , Perception et construction de l'utilité politique de l'eau non potable ».

Le travail sur la réutilisation et le métabolisme urbain fera partie d'une réponse au prochain appel d'offre ANR « Ecotechnologies et Eco-services », ECO-TS, à la rentrée scolaire. Le travail de prospection des partenaires a été lancé pendant la réunion annuelle du projet PIRVE, le 12 mars.

## **RESULTATS ATTENDUS ET RETOMBÉES**

---

Il est attendu de l'étude de fournir une vision globale (modèle) sur l'utilisation des ressources alternatives (eau brute, eau d'exhaure et eau usée traitée) à Paris et sa proche banlieue, les risques potentiels pour les usagers et les bénéfices pour l'environnement.

L'étude devra permettre d'améliorer les usages et d'adapter la qualité à son usage par traitement préalable ou dispositif de prévention pour ces usages. Par ailleurs les résultats devront aider les communes limitrophes de Paris voulant établir l'usage de l'eau non potable sur leur commune, de disposer des données de base pour orienter leurs politiques.

## PARTENAIRES

---

- Partenaires scientifiques : PIRVE CNRS, CSTB,

## CONTACTS

---

LEESU ENPC - Martin SEIDL - [martin.seidl@leesu.enpc.fr](mailto:martin.seidl@leesu.enpc.fr)

CSTB - Bernard De Gouvello

LEESU ENPC – J.F. Dérubaix