

Eau non potable et enjeux urbains et environnementaux

Le cas du réseau parisien

■ F. BERTRAND¹, M. GUILBAUD¹

Mots-clés : eau non potable, réseau métropolitain, bioclimatique, aménagement urbain, économie de la ressource

Keywords: non-potable water, metropolitan network, bioclimatic, urban planning, resource saving

Le 19 mars 2012, le conseil de Paris a délibéré sur l'avenir du réseau d'eau non potable (ENP) et pris une décision attendue depuis une vingtaine d'années. À l'unanimité, le choix a été fait de le maintenir et de l'optimiser.

Ce réseau, hérité de la seconde moitié du XIX^e siècle, est méconnu des Parisiens. Pourtant, il rend au quotidien de nombreux services et participe à l'agrément de la ville. Frère jumeau du réseau d'eau potable, il circule comme lui dans les galeries des égouts, sur près de 1 700 km. Sa raison d'être part d'un constat simple : ne pas utiliser de l'eau potable pour des usages ne nécessitant pas une telle qualité.

Cette délibération fait suite à plusieurs travaux, une conférence de consensus, en 2009, et les études de l'Atelier parisien d'urbanisme (APUR) menées, depuis 2010, avec le soutien de la direction de la propreté et de l'eau de la ville de Paris et d'Eau de Paris². Trois axes sont privilégiés depuis 2012 : la diversification des sources d'alimentation du réseau (eaux de surface, souterraines, de stations d'épuration, de pluie) et la prise en compte des dimensions bioclimatique et métropolitaine.

Aborder le problème de la valorisation de l'eau brute par des questions urbaines et environnementales, c'est aller vers une conception urbaine dynamique, transversale et intégrée, seule démarche à même de fonder une politique de développement durable.

1. Valorisation de la ressource en eau non potable dans la ville

L'eau non potable ou eau brute est une ressource qui peut servir à améliorer l'environnement urbain en matière à la fois d'écologie, d'hygiène et d'agrément. Sa valorisation peut contribuer à une conception renouvelée de la ville contemporaine.

1.1. L'eau brute au service de la trame verte et bleue

Présente en surface dans un certain nombre de bois, parcs et jardins de Paris et de la zone dense, l'eau est également distribuée par des réseaux souterrains qui permettent l'arrosage et l'alimentation des trames de surface (lacs, rivières, fontaines...).

Les lacs et rivières artificiels sont généralement alimentés en eau brute par diverses sources (eau de surface – Seine, Ourcq, Marne – et eau pluviale). En revanche, les systèmes d'arrosage sont depuis plusieurs années en grande partie alimentés par de l'eau potable. Plusieurs jardins ont été récemment raccordés au réseau d'eau non potable et des études sont en cours pour accélérer le processus.

Dès la création du réseau d'eau non potable, les services de la ville en charge de l'entretien des parcs et jardins utilisaient systématiquement l'ENP pour l'arrosage et l'alimentation des fontaines, lacs et rivières. À partir des années 1980, de nouvelles méthodes d'arrosage (automatique, goutte à goutte...) ont conduit à basculer l'alimentation de certains parcs

¹ Atelier parisien d'urbanisme (APUR) – 17, boulevard Morland – 75004 Paris.

² Voir bibliographie.

et jardins à l'eau potable. La présence de matières en suspension dans l'ENP risquait de colmater les nouveaux systèmes d'arrosage et la faible pression sur certaines parties du réseau n'était pas compatible avec ces techniques (2,5 bars nécessaires). Cependant, des systèmes simples et peu coûteux de filtration et de surpression existent (bois de Boulogne, pelouse du Champ de Mars...) et se révèlent adaptés à l'utilisation de l'ENP.

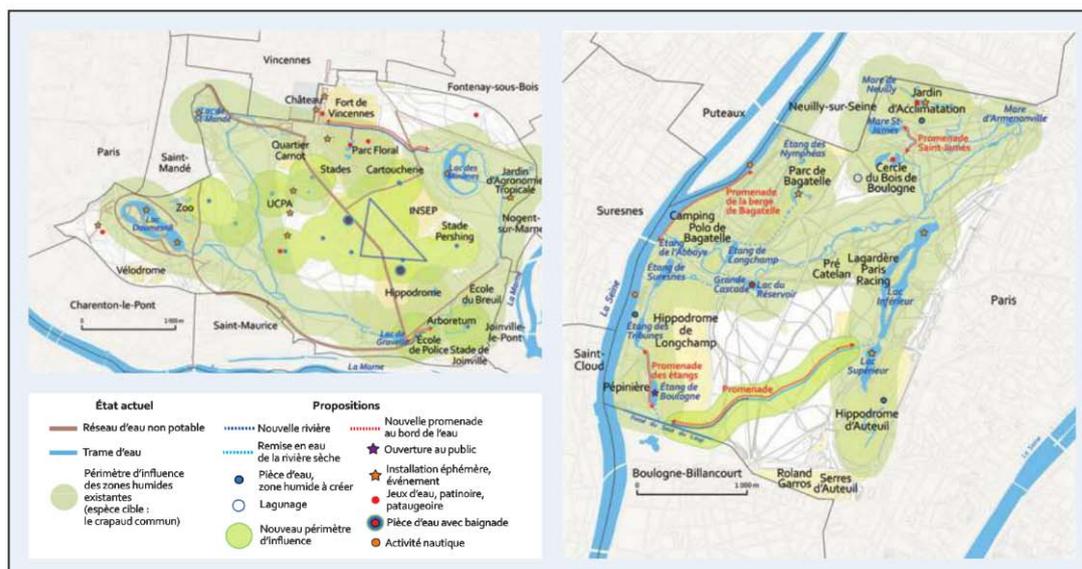
La décision du conseil de Paris a permis de revenir progressivement à l'eau non potable. En 2012 et 2013, huit jardins ont été connectés au réseau d'ENP. Une quinzaine de sites sont à l'étude pour un raccordement à court ou moyen terme. Les deux bois sont aussi concernés. Pour le bois de Vincennes, le square Carnot a déjà été raccordé et des projets sont à l'étude pour le Parc floral. Plus largement, c'est aussi une possible extension de la trame d'eau de surface (rivières) qui est envisageable tant pour le bois de Boulogne que pour le bois de Vincennes.

La présence de l'eau peut contribuer à enrichir les milieux naturels (biotopes spécifiques) au sein d'un système végétal plus large. Une meilleure connaissance des milieux liés à l'eau (fleuve, rivières, lacs, mares...) dans et hors Paris permet d'enrichir et de diversifier le maillage existant. Cette approche a été

précisée avec les services de l'écologie urbaine de la direction des espaces verts de la ville de Paris dans le cadre de l'étude menée par l'APUR sur la valorisation de l'eau dans les bois de Boulogne et de Vincennes. Elle a conduit à mieux localiser les secteurs susceptibles de contribuer à la mise en œuvre d'une trame bleue locale tant par l'extension du maillage des rivières que par la création de zones humides intégrant la gestion des eaux de pluie en surface.

Le système végétal peut aussi être conçu pour améliorer localement la qualité de l'eau brute (décantation, lagunage). Les freins liés à leur mise en œuvre dans les parcs et jardins relèvent notamment d'un manque de transversalité dans les approches techniques, les dispositifs de lagunage étant souvent associés à des ouvrages d'assainissement, donc jugés peu compatibles avec les enjeux écologiques et paysagers. Pourtant, plusieurs exemples de qualité existent déjà. Ils mériteraient d'être mieux connus et surtout d'être étendus (parc du Chemin de l'Île à Nanterre, bois parisiens...).

Plus globalement, le fonctionnement hydraulique de la trame bleue peut être repensé en évitant notamment que les volumes distribués ne rejoignent trop souvent les réseaux d'assainissement, mais alimentent davantage la trame de surface, les nappes ou encore le réseau



Sources : DEVE, APUR.

Figure 1. Bois de Vincennes et de Boulogne : étendre la trame d'eau et diversifier les usages

lui-même. C'est ce qui a été proposé pour les bois parisiens, en étendant la trame d'eau avant le rejet en égout ou en recherchant de nouveaux exutoires, particulièrement en Seine pour le bois de Boulogne (figure 1).

1.2. Utilisation d'une eau brute pour assurer le confort urbain en ville

L'optimisation de la propreté et de l'assainissement, ainsi que le confort des agents en charge de leur fonctionnement, a fait l'objet d'études plus approfondies avec le soutien du service technique de l'eau et de l'assainissement et de la section de l'assainissement de Paris de la direction de la propreté et de l'eau (STEA/SAP/DPE). La rusticité des méthodes et outils traditionnels (chasse d'eau, bouches de lavage) a ainsi pu être revisitée et mise en valeur.

L'élaboration d'une cartographie spécifique a permis de visualiser, selon les situations urbaines, comment optimiser la ressource et l'outil technique, et a contribué à mieux définir les rapports entre nettoyage, usages urbains et besoins en eau.

1.2.1. Sol et sous-sol : complémentarité des eaux pour la gestion du « sale » dans la ville

À Paris, l'eau non potable sert au nettoyage en surface (coulage de caniveau par les bouches de lavage – BL – et remplissage d'engins avec les bouches de remplissage – BR), et en sous-sol (évacuation en égout grâce au soutien des réservoirs de chasse – RC).

L'utilisation simultanée de ces équipements est indissociable d'une bonne gestion du « sale » dans la ville. Dès le XIX^e siècle, leur localisation en égout comme sur l'espace public parisien assurait une bonne hygiène en ville.

La recherche d'une réduction des volumes d'eau acheminés en égout, à la suite des orientations du schéma directeur d'assainissement de 1997 qui considérait à juste titre que toutes les eaux n'avaient pas vocation à être traitées en station d'épuration (STEP), a conduit à la fermeture de nombreuses BL et de la moitié des RC. L'autre moitié des RC a été équipée de systèmes de temporisation, dont seulement 10 % ont véritablement fonctionné, leur sophistication se révélant inadaptée aux conditions en égout.

La très forte baisse des consommations des RC a eu plusieurs répercussions :

- une fermentation des eaux usées, ce qui génère de fortes odeurs;
- un risque sanitaire dû au dégagement gazeux (H₂S);
- la prolifération des nuisibles (rats, cafards...);
- une plus forte concentration des effluents qui arrivent en station d'épuration, ce qui pose des problèmes de traitement biologique.

Ce phénomène est indissociable de la réduction des volumes d'eaux potable et non potable observée depuis plusieurs années. Cette baisse est liée à une diminution des consommations domestiques (en grande partie due aux nouvelles performances des équipements privés) et à une forte désindustrialisation à l'échelle de la région parisienne. Les travaux importants réalisés sur les réseaux enterrés (réduction des fuites) ont aussi contribué à la mise en œuvre d'une politique générale d'économie de la ressource.

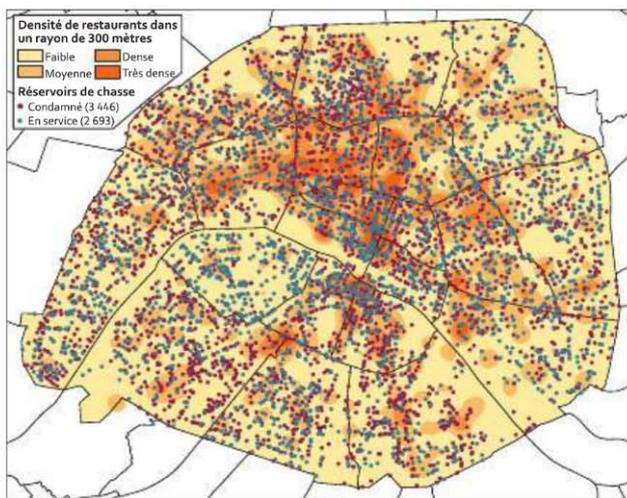
Ces baisses de volume se conjuguent à une forte baisse du niveau des nappes, au moins pour certains secteurs de la région parisienne, ce qui conduit le réseau d'assainissement à être de moins en moins alimenté par des eaux dites « claires parasites ».

Cette situation a de lourdes répercussions sur le cycle général de l'assainissement. Le transport des matières est dégradé, ce qui a une influence sur les conditions de travail en égout ; les effluents sont de plus en plus concentrés à l'arrivée en station d'épuration. La qualité des rejets en sortie de station est donc plus difficile à maîtriser.

En ce qui concerne les réservoirs de chasse, des facteurs aggravant la situation en égouts ont été identifiés (présence de pressing, établissement de soin...), l'un des principaux étant le rejet de graisses par les restaurants. À partir de ce constat, plusieurs pistes de travail ont été proposées :

- remettre en fonctionnement l'ensemble des RC temporisés, soit 2 693 unités;
- prendre en compte les facteurs aggravant la situation en égouts pour déterminer les RC à maintenir en service et le nombre de chasses nécessaires.

Fin 2013, 1 411 réservoirs de chasse ont été diagnostiqués et 794 remis en fonctionnement par les services de la DPE (figure 2).



Sources : DPE, APUR.

Figure 2. Densité de restaurants parisiens et emplacement des réservoirs de chasse

Ce constat met en avant l'intérêt que nous avons de retrouver des liens entre la ville du dessous et celle du dessus, une façon de regarder autrement l'héritage des XIX^e et XX^e siècles. Prenons l'exemple des bouches de lavage. Alors que l'abandon du réseau aurait pu conduire à la disparition d'un grand nombre d'entre elles, voire à une intensification de l'usage des moyens mécanisés, c'est désormais une amélioration

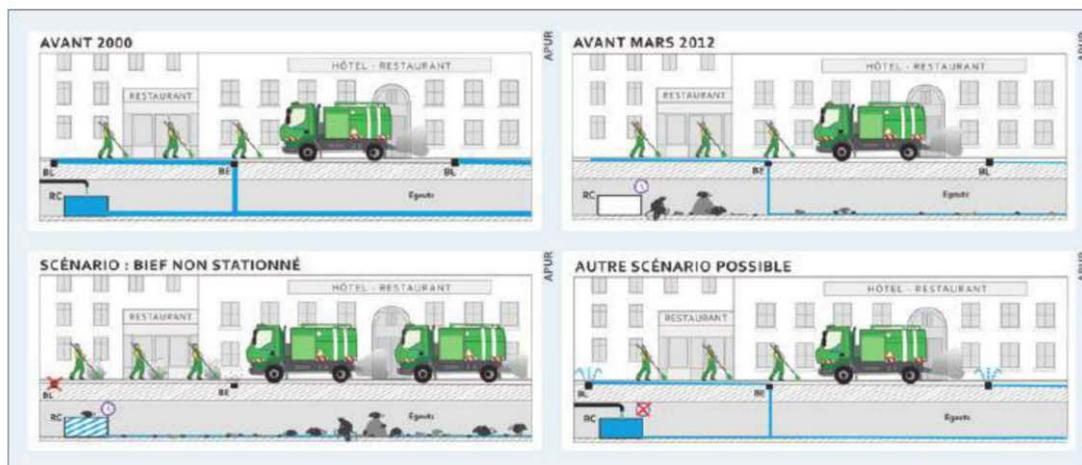
de leur fonctionnement qui est recherché, les volumes d'eau circulant en surface dans les caniveaux étant complémentaires de ceux des réservoirs de chasse. Dans un premier temps, le recours aux BL et aux BR, donc à un nettoyage manuel et à un nettoyage mécanisé, semble indispensable. Le maintien du réseau pourrait aussi conduire à terme à une réduction des véhicules de lavage dont le bilan environnemental est globalement négatif (bilan carbone, stockage, nuisance sonore, réchauffement de l'atmosphère).

Dans une perspective d'économie globale de la ressource et d'une prise en compte du cycle de l'eau à l'échelle de la ville, les RC et les BL ont encore toute leur place. Ces systèmes rustiques ont fait la preuve de leur efficacité et de leur durabilité. Il faut aujourd'hui les reconsidérer et les moderniser, en évitant l'écueil d'une trop grande sophistication technique. À titre d'exemple, les BL pourraient être utilisées pour rafraîchir l'espace public en cas de périodes de canicule (figure 3).

1.2.2. L'eau brute comme solution microclimatique

L'utilisation de l'eau pour rafraîchir l'air ambiant, lutter contre les îlots de chaleur, voire réduire la présence de polluants fait également l'objet d'études spécifiques.

Malgré la qualité de l'héritage du XIX^e siècle, il ne faut pas ignorer que l'artificialisation de la ville s'est



BL : bouche de lavage; RC : réservoir de chasse; BE : bouche d'égout.

Figure 3. Sol et sous-sol : complémentarité des eaux pour la gestion du sale en ville

construite avec une vision hygiéniste et centralisée qui a conduit, grâce aux techniques de nivellement, à faire disparaître les eaux stagnantes et toute possibilité d'infiltration. Ces techniques doivent être reconsidérées à l'aune des changements climatiques.

Les épisodes caniculaires sont à l'origine d'une surmortalité importante dans les villes. En août 2003, à Paris, il y a eu 1 254 décès supplémentaires et des différences de températures atteignant +8 % avec les zones périphériques ont été relevées. Ces épisodes doivent être anticipés en identifiant les situations aggravantes et en intégrant l'eau dans la lutte contre la canicule.

Pour l'Institut national de veille sanitaire, une hausse de 1 degré aurait aggravé le risque sanitaire de 80 %. De plus en plus d'études confirment que la présence d'une rivière, d'un fleuve ou d'un parc suffisamment planté et arrosé peut fortement modifier le climat local jusqu'à créer un microclimat et permettre un abaissement de température de plusieurs degrés jusqu'à 100 m de distance. Ainsi, différents types d'actions peuvent être mis en œuvre dont les effets pour rafraîchir sont variés mais bien réels.

• Trames d'eau dans la ville

Le parc Clichy-Batignolles, le parc de l'île de Nanterre, le futur parc Kodak à Sevran... sont des exemples de réalisation et de projets de mise en valeur de l'eau, de sa gestion économe et de l'amélioration de sa qualité. Dans leur parti d'aménagement, de nouveaux projets urbains pourraient encore être incités à insérer l'eau et surtout à préserver son cycle (récupération, infiltration...). Les canaux parisiens, à l'instar de la Seine, constituent une pièce essentielle d'une trame bleue urbaine. Ils pourraient être le support à l'extension d'une trame d'eau enrichissant les nouveaux projets.

En période de forte chaleur se pose la question du stress hydrique de la végétation et de l'efficacité de l'évapotranspiration des plantes pour rafraîchir l'air. Pour cela, les végétaux doivent disposer de suffisamment d'eau. Certaines espèces d'arbres manquant d'eau peuvent entrer en latence, donc pas ou peu contribuer au rafraîchissement. Un levier important de lutte contre les îlots de chaleur urbains (ICU) est donc la bioclimatisation proprement dite, qui se traduit par une trame végétale arrosée de façon à



Figure 4. Principes de plantation combinés à la gestion des eaux de pluie : Tokyo, Japon

favoriser l'évapotranspiration, en particulier durant les épisodes caniculaires, et par un sol humide et riche, donc alimenté en eau.

Ces différents aspects sont étroitement liés et peuvent aujourd'hui amener à repenser certaines économies d'eau, en particulier pour l'arrosage (méthode d'irrigation raisonnée MIR...).

Toutes ces améliorations et expérimentations nécessitent de mobiliser l'intelligence de tous les services concernés et donc de dépasser une gestion trop strictement spécialisée. Cette synergie doit être à la mesure de la complexité métropolitaine et du changement climatique annoncé par de nombreux spécialistes (figure 4).

• Le sol de la ville comme réservoir et diffuseur d'eau

Certaines villes désireuses de réduire les effets d'îlots de chaleur urbains ont mis en place des systèmes permettant un usage de l'eau pour rafraîchir l'air ambiant *via* un arrosage de la voirie. C'est le cas du Japon qui utilise l'eau recyclée pour ses réseaux d'aspersion. Les 12 000 bouches de lavage du réseau parisien pourraient servir à ce nouvel usage. Situées sur l'ensemble des voies parisiennes et alimentées en ENP, elles pourraient donc être amenées à évoluer et

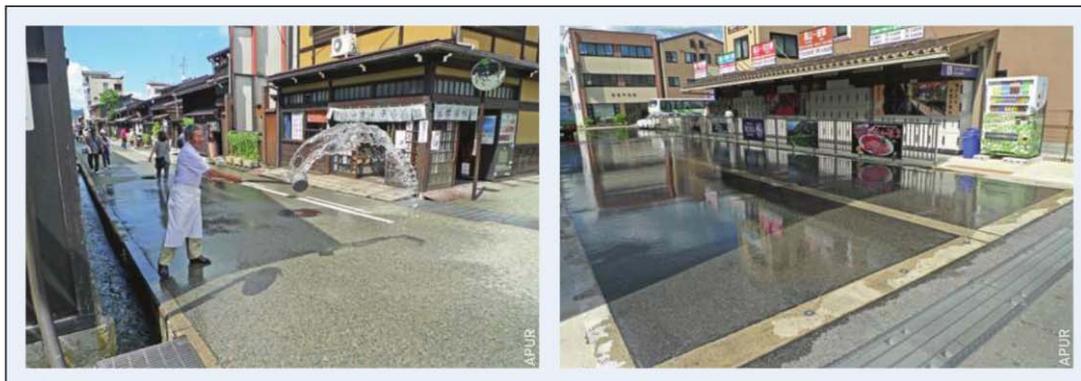


Figure 5. Rafrâichir avec l'eau, Takayama, Japon

à constituer un outil propice au rafraîchissement de la ville (figure 5).

La perméabilité des sols et la possible mise en œuvre de chaussées poreuses font aussi partie des réflexions en cours.

Afin d'obtenir de bons résultats en matière de baisse des températures par évaporation, les études sur les revêtements de chaussée doivent être poursuivies en les associant à l'aspersion, à l'exemple du Japon. L'extension des surfaces perméables contribuant aussi à l'évaporation, donc au rafraîchissement, est un paramètre essentiel de la réflexion sur la qualité des sols. Ces surfaces peuvent contribuer à alimenter les nappes et à considérer le sol comme un réservoir potentiel dans lequel on peut stocker et puiser de l'eau. Le paysage urbain pourrait changer en profondeur et devenir plus accueillant pour la flore et la faune. Des expérimentations, lors de nouveaux projets ou de travaux de réfection de voirie, seraient l'occasion de réinventer un art de la voirie hérité du XIX^e siècle au service de nouveaux enjeux environnementaux.

Après une première campagne d'essai, durant les périodes de forte chaleur des étés 2012 et 2013, le service technique de l'eau et de l'assainissement, en lien avec la direction des espaces verts de la ville de Paris, Météo France et l'APUR, va poursuivre les expérimentations d'arrosage à la fois avec des engins mécanisés et avec une adaptation des bouches de lavage permettant une aspersion uniforme de la voirie. Les tests se dérouleront cet été 2014 si une période de canicule se déclenche à nouveau.

Ces expérimentations doivent aussi permettre de mesurer la réduction possible de la présence des polluants en milieu urbain (figure 6).

1.3. Les plaisirs de l'eau

Enrichir la présence de l'eau en ville peut être l'un des atouts de la métropole en devenir. Après une longue période où l'eau a été cachée, elle doit aujourd'hui retrouver toute sa place en ville et notamment dans le cadre des projets en cours et à venir.



Figure 6. Rue Portalis, 8^e arrondissement. État projeté avant-après

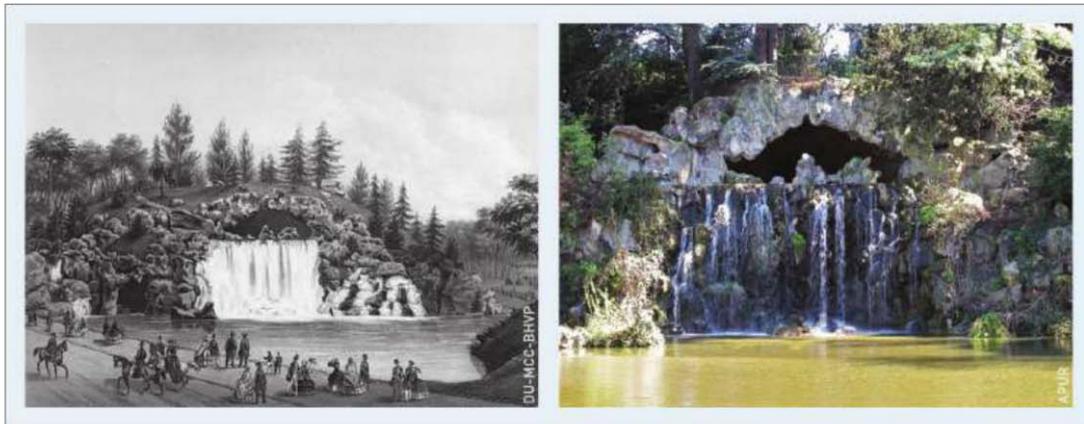


Figure 7. Grande cascade du bois de Boulogne hier et aujourd'hui

De nombreux moyens d'action sont possibles pour restaurer et développer la présence de l'eau en ville : enrichir le patrimoine métropolitain (redécouverte d'anciennes trames d'eau et création de nouvelles...), développer la baignade en eau libre en cœur d'agglomération (les bois et forêts, les rivières, les canaux...), mettre en valeur des points d'eau que sont les fontaines.

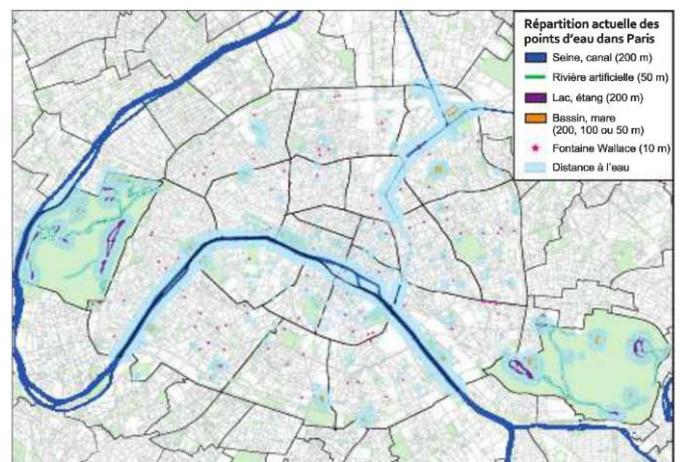
Paris dispose aussi d'un grand héritage dont le potentiel mérite d'être valorisé et enrichi : fontaines, lacs, rivières, cascades... Plusieurs équipements, particulièrement dans les parcs et jardins, ont toutefois perdu de leur faste d'origine. Les cascades des bois, comme celles du parc des Buttes-Chaumont..., témoignaient d'une volonté de mettre en scène l'eau dans la ville pour le plus grand plaisir des Parisiens et des visiteurs étrangers. Aujourd'hui, elles se réduisent souvent à quelques filets d'eau. Leur remise en service ponctuelle pourrait se faire à l'occasion d'une fête de l'eau, à l'instar des grandes eaux de Versailles, et participer à une redécouverte économe de l'eau dans la ville que Paris Plage a initiée avec succès. Un tel projet est déjà à l'œuvre pour la grande cascade du bois de Boulogne (figure 7).

Malgré la présence de trames d'eau naturelles et artificielles, Paris, dont la densité est l'une des plus élevées au monde, reste une ville très minérale. Comme le reste du cœur de la métropole, elle compte moins de 3 % d'eau de surface. Néanmoins, la tradition parisienne de maîtrise des réseaux d'eau et

d'assainissement (construction d'égouts visitables et de deux réseaux d'eau...) a permis de conserver une présence de l'eau dans la ville, même si elle reste canalisée et artificielle (trames d'eau des parcs et des bois, fontaines, coulage des caniveaux...). Paris dispose d'un héritage dont le potentiel mériterait d'être valorisé et enrichi : fontaines, miroirs d'eau, lacs, rivières, cascades (figure 8)...

L'eau, considérée comme un élément fort d'aménité urbaine, pourrait être plus présente et mettre en scène, par exemple, les différents états de l'eau – gazeux (vapeur), liquide, solide (figure 9).

L'amélioration de l'état écologique des eaux, prévue par la directive cadre sur l'eau (DCE), devrait aussi



Sources : DEVE, APUR.

Figure 8. Répartition actuelle des points d'eau dans Paris



Figure 9. Patinage, place de l'Hôtel de Ville, Paris. Miroir d'eau, Le Blanc-Mesnil

permettre dans un avenir proche de diversifier la présence et les usages de l'eau en ville. Si la redécouverte de la Bièvre risque d'être longue, celle de la Vieille Mer en Seine-Saint-Denis est envisageable à moyen terme. De même, des projets de baignade pourraient être développés, particulièrement dans les bois parisiens et les canaux. En ce sens, le fait de disposer d'un réseau spécifique peut offrir des garanties en matière de suivi de la qualité et de la quantité d'eau utilisée.

2. L'eau brute dans la métropole : usages, armature technique, ressources

Le Bassin parisien devra faire face dans une quarantaine d'années (presque deux générations) à des périodes d'étiages plus longues et plus graves (fleuves et nappes). Il est donc important de diversifier les eaux utilisées en fonction des usages auxquels elles peuvent être destinées.

2.1. Identification des usages et des territoires à desservir

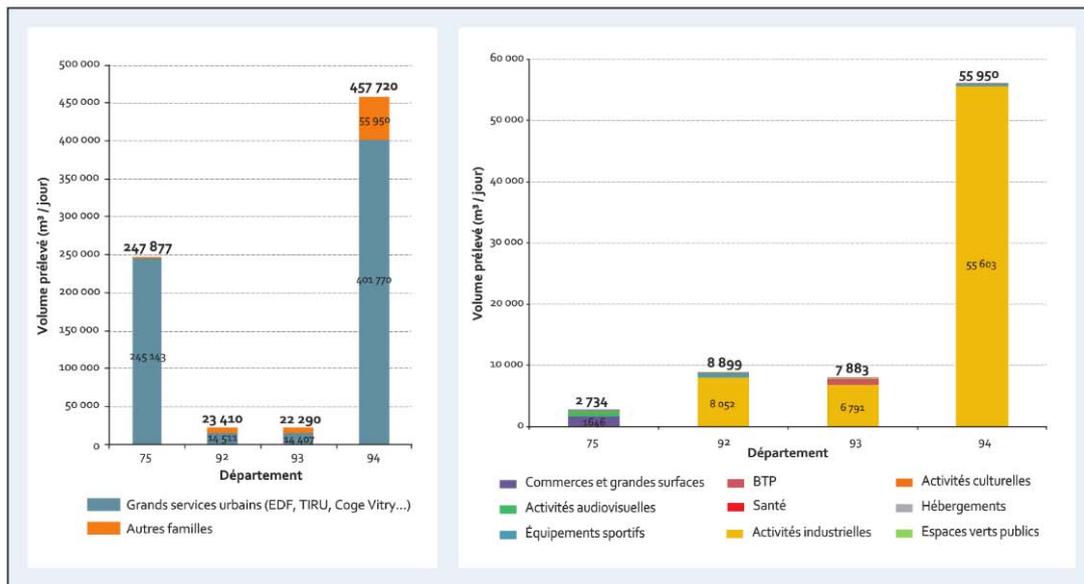
Même en l'absence de réseau spécifiquement dédié à l'eau brute, un grand nombre d'acteurs utilisant cette eau le font déjà par le biais de prélèvements directs dans la ressource (Syctom et Compagnie parisienne de chauffage urbain – CPCU – à Saint-Ouen qui prélèvent directement en Seine, centrales à béton qui prélèvent dans le canal Saint-Denis, jardins ouvriers qui prélèvent dans les eaux de surfaces ou souterraines...). Il importe de dresser la liste et surtout la cartographie de ces usagers, pour mieux les connaître et pour extrapoler, en fonction des catégories qu'ils

représentent, l'extension possible de ces usages. Il s'agit aussi de s'assurer que la ressource utilisée est optimale en qualité et en disponibilité pour ces usages et qu'elle ne contribue pas, par son utilisation, à une dégradation de la ressource.

Mais, l'identification des usagers potentiels doit aussi permettre de valoriser des usages qui ont pu exister sur le territoire, et peuvent relever d'une certaine forme de patrimoine, voire de culture urbaine (nettoyage, arrosage, process industriels...). La recherche de nouveaux usages et usagers potentiels ne doit pas se substituer à la revalorisation des pratiques courantes.

C'est aussi sur cette reconnaissance que peuvent s'organiser de nouvelles pratiques, une autre économie de la ressource qui profite, selon les cas, de sa proximité, de sa disponibilité, de sa qualité... c'est aussi à cette condition que peuvent être repensés l'utilisation de réseaux existants, la manière de concevoir les voiries, l'arrosage des jardins...

À l'échelle de la métropole, il existe de nombreux usages ne nécessitant pas une qualité d'eau potable qui pourraient être satisfaits par de l'eau brute. À Paris, par exemple, l'usage de l'eau brute concerne très majoritairement des utilisateurs publics, il est donc essentiel d'accorder une part importante à la reconnaissance des acteurs et des usages publics. Dans les trois départements riverains, la situation est souvent différente, puisque les usages courants de l'eau brute sont le fait d'acteurs privés, essentiellement industriels. Pourtant, les mêmes usages publics ou assimilés existent (propreté et assainissement,



Source : agence de l'eau, 2006.

Figure 10. Part des usagers prélevant en milieu naturel (hors réseau d'eau non potable pour Paris)

entretien des parcs et jardins, autres équipements et services publics...). Ces territoires seront aussi confrontés à un possible stress hydrique à l'horizon 2050 et à des phénomènes de canicule.

Néanmoins, l'histoire industrielle du territoire de Plaine Commune le prouve, les usagers privés peuvent représenter une part significative (commerçants, bureaux, logements, activités...), de manière continue ou non (alimentation pour les chantiers, par exemple) (figure 10).

Par ailleurs, qu'il s'agisse d'eau pluviale, d'eau de surface ou d'eau souterraine, l'ouverture vers les références internationales et nationales permet également de dresser un large panel d'utilisations potentielles pour l'habitat individuel et collectif, les activités industrielles ou tertiaires (chasses d'eau, mini-stations d'épurations, production de froid et de chaud, arrosage, nettoyage...), l'amélioration dans la gestion des espaces publics (nettoyage, arrosage, aménités), la lutte contre les inondations, le froid ou la chaleur... Enfin, il faut noter que l'usage existant et possible de l'eau brute ne peut se limiter à l'identification des usagers. Si cette approche est essentielle pour des questions juridiques et économiques, notamment, elle ne permet pas de répondre de manière plus exhaustive à la gestion des risques d'inondation, à la

lutte contre les îlots de chaleurs, à la mise en œuvre d'une trame bleue et verte... pour lesquels il faut envisager une complémentarité aussi bien des techniques et des ressources, que des acteurs et des usages de l'eau brute.

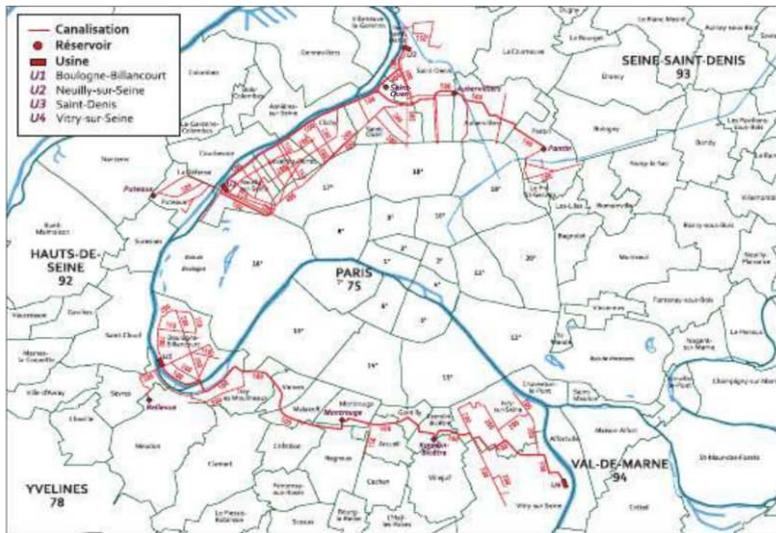
2.2. Les moyens d'une extension des réseaux

Compte tenu des coûts élevés de construction de nouveaux réseaux, il est indispensable de proposer les moyens les plus accessibles, tant en matière d'ingénierie que de coûts, pour étendre ou créer des réseaux d'ENP à l'échelle de la zone dense.

Dans Paris, une meilleure connaissance du fonctionnement et de l'état patrimonial du réseau d'eau non potable permet à Eau de Paris d'assurer les travaux de première nécessité et d'optimiser le fonctionnement du réseau. Cette étape est un jalon essentiel de sa reconquête dans Paris, dans un premier temps, mais aussi à terme d'une offre de service sur un territoire plus vaste.

2.2.1. Une richesse technique et une diversité d'usages au service de la métropole

Contrairement aux idées reçues, le double réseau parisien ne fait pas exception. De nombreuses communes de l'ancien département de la Seine ont



Sources : archives municipales de la ville de Saint-Denis, APUR.

Figure 11. Le réseau d'eau brute dans les communes syndiquées de la banlieue de Paris en 1939

disposé d'un tel service. Certaines communes de la proche couronne disposent encore de BL, mais celles qui ont été maintenues en service sont aujourd'hui alimentées en eau potable (figure 11).

De nombreuses grandes villes de France entretiennent aussi un double réseau. Le réseau d'eau brute, généralement utilisé pour des usages agricoles ou industriels, est parfois détourné pour satisfaire des usages urbains plus diversifiés (publics et privés). En Europe, plusieurs métropoles se sont dotées d'un réseau d'eau brute ou envisagent de le faire pour préserver leurs réserves en eau potable et anticiper les changements climatiques (Madrid, Barcelone, Londres...). En ce sens, il paraît légitime de s'interroger sur une possible extension des usages de l'eau brute à l'échelle du cœur de la métropole. Plusieurs pistes, en cours d'étude, peuvent être évoquées, elles croisent la reconnaissance des infrastructures existantes et des ressources disponibles :

- les canaux parisiens (Ourcq et Saint-Denis) étaient encore récemment étanches aux territoires qu'ils traversent. Désormais, des échanges d'eau (rejets et prélèvements) sont autorisés. Un guide du partage de l'eau a été élaboré et voté par le conseil de Paris en 2012. Les canaux pourraient donc servir à de nouveaux usages (arrosage des parcs et jardins, alimentation des ports et des secteurs d'aménagement, amélioration ponctuelle de la qualité de l'eau rejetée...);

- l'ingénierie hydraulique du XIX^e et du XX^e siècle a laissé un héritage de galeries visitables à l'échelle de l'ancien département de la Seine (425 km en Seine-Saint-Denis, 350 km dans les Hauts-de-Seine et 300 km dans le Val-de-Marne). Ces galeries pourraient favoriser la création de réseaux d'eau brute alimentés à partir du réseau parisien, dont les usines sont implantées à proximité des communes riveraines, voire plus localement en fonction de la ressource disponible et des usages à satisfaire ;

- l'existence d'un réservoir d'ENP dans la commune de Villejuif (réservoir de Villejuif), situé en point haut, pourrait aussi être l'un des moyens d'extension de ce réseau.

La ville de Dijon offre ainsi un exemple intéressant de réutilisation d'un réseau ancien existant. Ce projet, lié au développement du tramway, s'appuie sur une volonté politique ne pas utiliser d'eau potable pour l'arrosage des plateformes enherbées, sur la reconquête d'un patrimoine de qualité réalisé au XIX^e siècle par l'ingénieur Darcy (réservoirs Darcy et Montmusard reliés par des canalizations), et sur une ressource en eau inutilisée (les eaux d'exhaure du parking souterrain de La Trémouille). Chaque année, sont ainsi exploités 22 000 m³ pour l'arrosage des espaces plantés et 10 000 m³ pour le nettoyage.

Plus largement, le cœur de la métropole compte un grand nombre de territoires en mutation susceptibles d'utiliser l'eau brute en phase de chantier, puis dans la gestion de ces nouveaux quartiers. Plaine Commune, dont le territoire a été modelé par l'eau et subit des phénomènes d'inondations et de remontée de nappe (depuis le départ des industriels), a ainsi lancé en 2012 une étude sur la valorisation de l'eau brute. Cette approche est une occasion de considérer le territoire habité et équipé comme une ressource qui peut guider les choix d'utilisation et de valorisation de l'eau brute. Dans le cadre de l'étude en cours, l'APUR étudie ce territoire à la fois sous l'angle des densités et des intensités urbaines, des ICU existants et potentiellement à venir (revêtement des sols, thermographie dans les bâtiments...), des secteurs de projets,

de la qualité des paysages, des sols et des sous-sols (figure 12)...

2.3. Ressources en eau pour un réseau d'ENP : identification et caractérisation

La diversification des sources d'alimentation pour le réseau parisien est un élément clé de l'argumentaire en faveur de son développement et de son devenir. En effet, si la présence d'un réseau d'eau brute a l'avantage de permettre l'utilisation d'une eau non traitée pour des usages ne nécessitant pas une qualité d'eau potable, elle pose néanmoins la question de l'impact sur la ressource du double prélèvement, en particulier sur des territoires soumis à des stress hydriques.

2.3.1. Identification des ressources et volumes disponibles

La première étape passe par l'identification de l'ensemble des ressources disponibles sur le territoire d'étude. Ces ressources comprennent l'ensemble des eaux impropres à la consommation et qui n'ont pas à être utilisées pour la production d'eau potable. Cette catégorie varie néanmoins selon les pays et les réglementations.

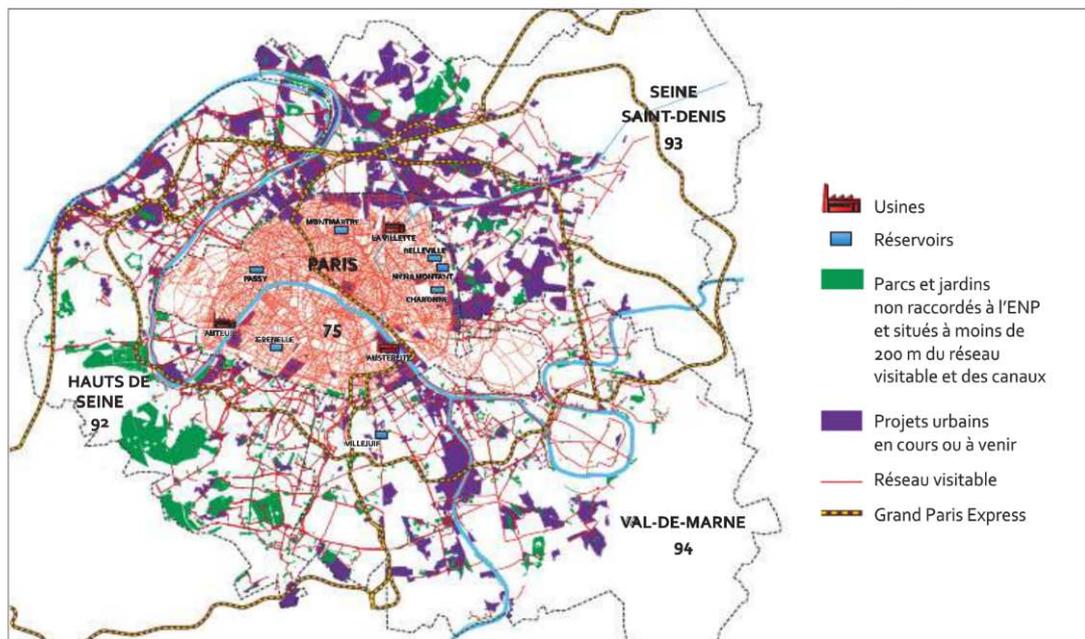
Une typologie des eaux brutes qui reflète la variété de leurs provenances, de leur disponibilité, de leur débit et de leur qualité a donc été réalisée.

La question est abordée à l'échelle plus globale du cycle de l'eau sur le territoire de la métropole et plus spécifiquement à l'échelle du bassin versant de la Seine-Normandie.

Une grande variété d'eaux peut d'ores et déjà être identifiable : eaux de surfaces (fleuve, rivières, canaux, lacs), eaux usées traitées, eaux d'exhaures, eaux de chauffage et de climatisation, eaux pluviales, eaux de nappe, eaux grises, eaux de piscines et de patinoires...

L'estimation des volumes est primordiale tant pour le bon dimensionnement des infrastructures qui seront dédiées à alimenter les usagers en eau brute que pour une bonne gestion des cycles de l'eau brute. En effet, des prélèvements trop importants sur la ressource de surface ou souterraine auraient des conséquences sur l'ensemble des cycles.

Les eaux identifiées à ce stade ne représentent pas les mêmes potentiels en matière de volume. Aujourd'hui, le réseau parisien est alimenté par 150 000 à 180 000 m³/j d'eau issue du canal de l'Ourcq (rivière canalisée, ainsi que quelques affluents et des pom-



Sources : conseils généraux 92, 93 et 94, Eau de Paris, APUR.

Figure 12. Armature technique (réseaux visitables, usines, réservoirs), secteurs d'aménagement et parcs et jardins

pages ponctuels en Marne). Il est aussi approvisionné par de l'eau de Seine (usine d'Auteuil), mais pourrait l'être encore davantage (usine d'Austerlitz). Dans la perspective d'un accroissement des volumes utilisés d'eau brute, et du respect de débits réservés autour du canal de l'Ourcq, ces pompages en Seine pourraient être augmentés et sont intégrés dans la modélisation réalisée par Eau de Paris.

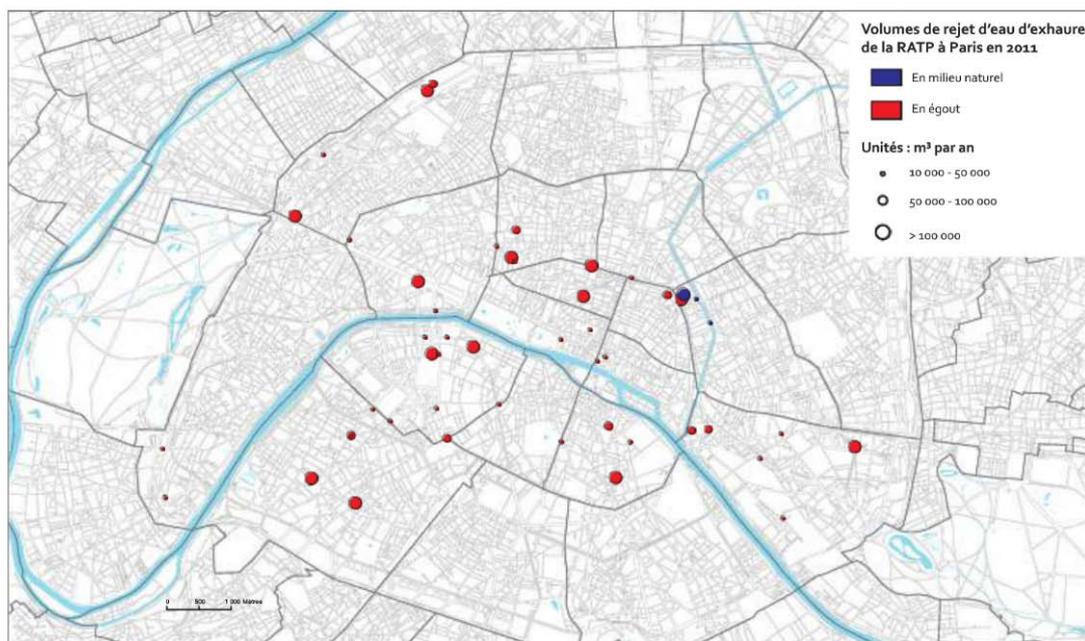
Néanmoins, d'autres ressources sont aussi importantes à prendre en compte. C'est le cas notamment des volumes d'eau d'exhaure qui représentent à Paris, pour la seule RATP, 8 millions de m³/an en moyenne, dont 6 millions sont rejetés en égouts. Le raccordement de ces points d'épuisement au réseau d'eau non potable fait partie des projets étudiés par Eau de Paris (figure 13).

Les nappes, bien que moins connues, représentent sous Paris environ 10 000 m³/j et sous la petite couronne environ 160 000 m³/j. Il existe de nombreux points de forages, qui ne sont pas tous déclarés et encore utilisés. En l'absence de données précises, la question reste posée d'une optimisation dans l'exploitation de cette ressource sans accentuer certains risques (dissolution de gypse, liens entre la nappe alluviale et la Seine...).

Les eaux usées traitées restent sans doute la voie majeure d'économie d'eau. Leurs volumes représentent la deuxième ressource après les rivières. Ces volumes ont l'intérêt d'être constants et de faire d'ores et déjà l'objet de réutilisation, particulièrement dans les régions arides. Mais, en dehors de situation de stress hydrique, les obstacles majeurs à surmonter sont économiques et surtout liés à l'acceptabilité sociale d'une telle réutilisation.

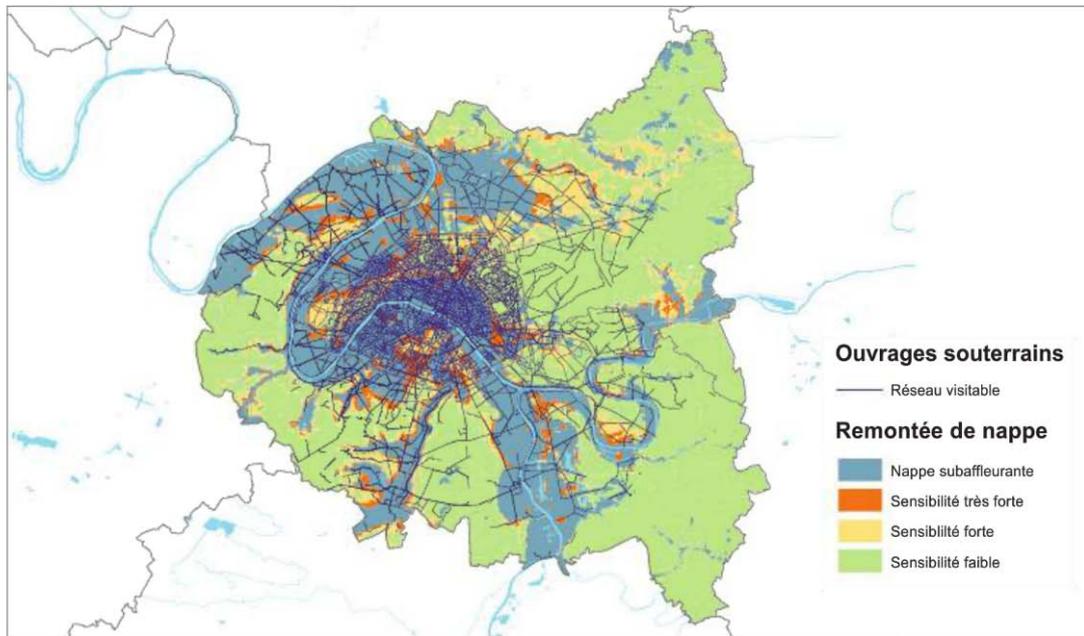
Enfin, bien que plus réduits (de l'ordre de 10 à 20 m³/j), les eaux de piscines ont également un potentiel et leur exploitation peut être envisagée à partir de petites infrastructures. La ville de Rennes en offre un exemple intéressant, pour le nettoyage des espaces publics notamment.

L'enjeu et l'intérêt d'une identification des ressources en eau non potable est aussi qu'elle ne se limite pas à l'objet technique du réseau et à son extension possible, même si les liens entre ressources et réseaux restent essentiels à considérer autrement que sous l'angle négatif des eaux claires parasites. Elle invite à penser les ressources comme étant leur propre vecteur de diffusion, à reconsidérer le potentiel que représente leur répartition sur le territoire et à s'interroger, face à une multiplicité d'acteurs, sur leur



Sources : RATP, APUR.

Figure 13. Carte des points d'exhaure de la RATP à Paris



Sources : BRGM, BdREF, conseils généraux 92, 93 et 94, Eau de Paris, APUR.

Figure 14. Carte des eaux de surface, des remontées de nappes et des réseaux visitables

gestion coordonnée. Le manque de mutualisation des données et le cloisonnement des acteurs restent, à ce jour, des freins importants, alors qu'une meilleure connaissance des ressources implique souvent des études longues et coûteuses (cas des nappes particulièrement) (figure 14).

2.3.2. Caractérisation des ressources : qualités, disponibilités, localisation

Un diagnostic croisant les données de volumes disponibles, de leurs qualités, de leur disponibilité et de leur localisation permet de préciser l'hypothèse d'une diversification des types d'eaux et de la distribution par le réseau d'ENP. Enfin, d'autres pistes sont explorées pour rétablir/équilibrer le cycle de l'eau du bassin versant (recharge et exploitation des nappes, recyclage...).

La disponibilité de ces volumes est aussi à considérer dans le temps : le temps long qui doit intégrer un risque de pénurie ou d'affluence (fortes précipitations), mais également le temps court qui permet de connaître sur une année la disponibilité de ressources de natures différentes, mais qui peuvent ainsi être considérées comme complémentaires.

Une mise en perspective des cadres réglementaires en vigueur et de leurs évolutions possibles est aussi un point incontournable de tout argumentaire portant sur les usages possibles d'eaux brutes.

Qu'il s'agisse des eaux de baignade, de la réutilisation des eaux en sortie de station d'épuration, d'utilisation des eaux de pluie et des eaux pluviales... les cadres réglementaires sont différents et plus ou moins précis. L'analyse en cours de cas étrangers et français contribue à une meilleure connaissance du sujet et à la définition de stratégies plus ou moins expérimentales et alternatives qui pourront être une aide à la décision. Par exemple, du fait de l'absence ou de l'imprécision de la réglementation, plusieurs villes, y compris françaises, ont déjà fait le choix d'utilisations novatrices de l'eau brute, sous contrôle d'institutions *ad hoc*, utilisations qui en retour peuvent enrichir la réflexion sur la réglementation.

L'attention portée aux eaux brutes ces dernières années en France apparaît déséquilibrée, situation qui conduit souvent à valoriser un type d'eau plutôt qu'un autre, voire à les considérer comme concurrentiels. C'est particulièrement le cas pour l'eau plu-

viale de plus en plus médiatisée et encadrée ou des économies recherchées sur les eaux de surfaces, immédiatement visibles, alors que c'est l'état des nappes qui est souvent le plus critique.

Là encore, il est donc indispensable de dépasser une vision sectorielle ou trop spécialisée du sujet. Il importe de considérer les eaux brutes comme un ensemble, ayant des dispositifs techniques de natures différentes, mais qui doivent être considérées sur le court et le long termes comme complémentaires. Une bonne économie de la ressource et des moyens à mettre en œuvre est en jeu (gestion de l'eau de pluie au plus près, réapprovisionnement de nappe, réduction des eaux en STEP...) (tableau I).

Cette approche doit aussi conduire à considérer la ressource dans le temps, pas seulement sous l'angle de sa disponibilité, mais aussi sous l'angle de qualités qui peuvent évoluer. À titre d'exemple, l'organisation des cycles de l'eau peut conduire à une amélioration progressive de cette qualité (réduction des matières en suspension, dépollution, meilleure qualité sanitaire...). L'effort, public et/ou privé, en investissement et en fonctionnement à accorder à cette amélioration dépend des usages et des usagers ciblés.

Dans le cadre des études en cours, Eau de Paris n'envisage pas une amélioration de la qualité globale de l'eau non potable, en dehors d'une meilleure filtration réalisable lors des travaux prévus à l'usine de la Villette. La réduction des rejets les plus polluants dans le canal de l'Ourcq, engagée par le service des canaux de la ville de Paris, devrait aussi permettre d'atteindre à terme une meilleure qualité de l'eau et d'envisager une plus grande diversité d'usages, comme la baignade, aujourd'hui possible en de rares points.

La nécessité de développer une vision globale sur des ressources et des dispositifs techniques considérés comme complémentaires est indissociable d'une autre approche, celle de l'étude d'un possible cocktail d'eaux brutes. En effet, comme nous l'avons rappelé, le bassin Seine Normandie n'est pas, à ce jour, dans une situation de stress hydrique importante. Cependant, les hypothèses d'évolution climatique à l'horizon 2050 prévoient une forte baisse de la disponibilité de la ressource en eau à l'échelle du bassin.

Pour répondre à des objectifs de durabilité et d'économie globale de la ressource en eau, de grandes métropoles ont d'ores et déjà mis en place des dispositifs variés permettant d'optimiser l'utilisation des ressources. À Madrid, un réseau d'« eau régénérée » est alimenté par les eaux traitées issues des stations d'épuration, des eaux d'exhaure et des eaux pluviales. Ces eaux sont ensuite distribuées aux usagers qui sont chargés d'y apporter un traitement complémentaire en fonction des usages. Plusieurs dizaines de kilomètres de réseau ont déjà été réalisées à l'échelle de l'agglomération.

L'analyse prend donc en compte la complémentarité de ces eaux et les cocktails qu'il est possible de faire en fonction des usages et des opportunités d'alimentation qui sont révélés dans l'étude.

Conclusion : avenir du réseau et ville postréseau

Les réseaux d'eau, d'assainissement, d'électricité... ont longtemps accompagné les transformations urbaines jusqu'à apparaître comme les garants d'une maîtrise politique, économique et technique des développements urbains. Pourtant, la question est de plus en plus posée de la légitimité et de la performance d'un système centralisé qui ne cesserait de s'accroître (voir à ce sujet les travaux d'Olivier Coutard, directeur de recherche au CNRS, LATTS, Université Paris-Est Marne-la-Vallée). Elle ne signifie pas pour autant la fin des grands réseaux hérités du XIX^e siècle, mais prend en considération le développement de techniques alternatives comme celle de la gestion des eaux pluviales au plus près du terrain (à l'échelle de la parcelle, des îlots, du quartier) ou du recyclage local (à Tokyo, les immeubles de plus de 15 étages doivent être équipés de mini-stations d'épuration, l'eau recyclée est utilisée pour les toilettes).

Ces réflexions invitent aussi à reconsidérer l'héritage des siècles passés et la coexistence qui a pu exister entre réseaux centralisés et dispositifs locaux d'exploitation de l'eau potable ou non potable. En Seine-Saint-Denis, l'eau souterraine a attiré de nombreux industriels qui se sont équipés de points de forage individuels. Leur départ a conduit à une

Ressources		Qualité	Estimation de volumes		Usagers potentiels	Armature technique
			Volumes disponibles	Volumes exploitables		
Eaux de surface	Seine	Médiocre, elle est potabilisable mais ne répond pas aux critères de qualité d'eau de baignade	60 m ³ /s : seuil d'alerte	80 m ³ /h (soit 1920 m ³ /j) limite de prise d'eau ne nécessitant pas de demande auprès de la police de l'eau	Services publics (propreté, assainissement, parcs et jardins, bailleurs sociaux...) Usagers privés (activités, industries, particuliers...)	En fonction de la disponibilité et de la qualité de la ressource, création de réseaux spécifiques ou de points d'alimentations ponctuels (BR, BL)
	Vieille Mer	Qualité en amélioration durant la dernière décennie mais elle reste impropre à d'autres usages que l'arrosage	Entre 300 et 600 L/s (soit entre 26 000 et 51 000 m ³ /j)	4 000 m ³ /jour		
	Ru d'Arras	Pas très bonne en temps sec	Entre 5 et 50 L/s (soit entre 430 et 4 300 m ³ /j)	À déterminer à l'aval des jardins familiaux de Villetaneuse		
	Canal Saint-Denis	Globalement bonne	Entre 30 000 et 50 000 m ³ /jour			
Eaux de nappe	Nappe du calcaire de Saint-Ouen	Bonne qualité, mais vulnérable aux pollutions de surface	2 135 000 m ³	À déterminer + 4 109 m ³ /jour (5 % du volume global des EP infiltrées en nappe)		Création de réseau spécifique et/ou points de stockage à partir d'ouvrage de captage
Eaux d'exhaures		Majoritairement de bonne qualité	À déterminer			Création de réseau spécifique et/ou points de stockage à partir de postes d'épuisements
Eaux usées traitées		Qualité suffisante pour être rejetée au milieu naturel. Elle est adaptée à certains usages	À déterminer			Création de réseau spécifique et/ou points de stockage à partir de la station d'épuration de la Morée
Eaux pluviales		Leurs qualités diffèrent en fonction de l'échelle et de la typologie de sol	82 200 m ³ /jour	4 109 m ³ /jour		Création de réseau spécifique et/ou points de stockage à partir d'installations de récupération d'eaux pluviales
				8 220 m ³ /jour		
Eaux de piscines et centres nautiques		Bonne qualité, le chlore s'annule automatiquement lorsque l'eau est à ciel ouvert pendant un temps assez court	84 m ³ /jour			Création de réseau spécifique et/ou points de stockage à partir de centres nautiques

BL : bouche de lavage ; BR : bouche de remplissage ; EP : eaux pluviales.

Sources : Plaine Commune, CG93, LREP, Atelier Thierry Maytraud, Urbain Water/Christian Piel, APUR.

Tableau I. Exemple de synthèse en cours sur le territoire de Plaine Commune

forte remontée de nappe affectant les constructions nouvelles qui s'étaient affranchies des conditions géographies et hydrogéologique (cas des 4000 à La Courneuve).

L'âge du « tout réseau » a aussi été celui de la canalisation extrême des rus et des rivières qui avaient souvent été transformés en véritables cloaques à ciel ouvert. Face aux enjeux climatiques et écologiques, de nouvelles approches s'imposent qui doivent être considérées comme complémentaires. L'eau, trop souvent devenue invisible, doit pouvoir retrouver le ciel et la terre, c'est-à-dire couler librement en surface et alimenter à nouveau les nappes souterraines les plus fragiles. Mais l'héritage des grands réseaux invite aussi à penser la complémentarité des dispositifs et des ressources, à envisager des maillages y compris avec des réseaux locaux. Le réseau d'ENP parisien pourrait être ainsi alimenté par les eaux d'exhaure rejetées par la RATP ou certains parkings enterrés, il pourrait aussi être combiné avec le réseau de la CPCU et favoriser des échanges d'eau, voire contribuer à des économies d'énergie.

La démarche engagée privilégie une approche prenant en compte l'ensemble des spécificités urbaines et environnementales, considérées comme ressources, afin de valoriser les eaux brutes en étant au plus proche de la diversité des situations territoriales.

L'étape engagée peut donc être considérée comme un jalon fondamental permettant de sensibiliser un ensemble large d'acteurs (politiques, techniques, administratifs, économiques, usagers...) à une question complexe et trop souvent considérée comme technique. Elle devrait permettre de dégager des moyens d'études complémentaires et spécifiques et d'ouvrir, par exemple, à la mise en place d'un schéma directeur de valorisation de l'eau brute.

À plus court terme, les expérimentations engagées à Paris (arrosage, rafraîchissement, diversification de la ressource : Seine, exhaure, production de chaud et de froid...) confirment le grand potentiel de l'eau brute en milieu urbain.

Bibliographie

APUR : *Étude sur le devenir du réseau d'eau non potable. Partie 1 : Analyse et diagnostic*, Paris, APUR, décembre 2010. *Partie 2 : Rappel et nouvelles pistes de réflexions sur le devenir du réseau d'ENP*, Paris, APUR, juillet 2011.

APUR : *Du réseau d'eau non potable à l'optimisation de la ressource en eau. Partie 1 : Cocktail d'eau et valorisation de la ressource*, Paris, APUR, juillet 2013. *Partie 2 : Restitution des ateliers des 11 et 12 février 2013*, Paris, APUR, avril 2013. *Partie 3 : Reconquête des usages de l'ENP*, Paris, APUR, décembre 2013.

APUR, DEVE : *L'eau dans les bois de Boulogne et de Vincennes. Valorisation de la ressource*, Paris, APUR, avril 2013.

APUR : « Le réseau d'eau non potable. Études menées entre 2010 et 2013 », *Synthèse*, Paris, APUR, mars 2014. (Toutes ces études sont téléchargeables sur le site : www.apur.org)

APUR : « Ville visible. Ressources cachées ». *Paris-Projet*, n° 41-42, juillet 2013.

COUTARD O. (2010) : « Services urbains : la fin des grands réseaux ? », in : COUTARD O. ET LÉVY J.-P. (eds), *Écologies urbaines*, Paris, Economica/Anthropos (collection Villes), pp. 102-129.

COUTARD O., RUTHERFORD J. (2009) : « Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques "décentralisées" ». *Flux* ; 76-77, avril-septembre 2009 : 6-13.

GUILLERME A., HUBERT G., TSUCHIYA Y. (1991) : *Aquosité urbaine : la Seine et ses affluents en Île-de-France, pour de nouveaux paysages*, Rapport de recherche, Laboratoire TMU CNRS 1244/IFU/Paris 8, Plan urbain, ministère de l'Équipement et du Logement, avril 1991.

MAIRIE DE PARIS, direction de la propreté et de l'eau : *Quel avenir pour le réseau d'eau non potable à Paris ?*, Conférence de consensus des 3 et 4 décembre 2009, Paris, Mairie de Paris, 2009. (Téléchargeable sur le site : www.paris.fr)

MAIRIE DE PARIS, direction de la propreté et de l'eau : *Le livre bleu 2012*, Paris, Mairie de Paris, 2012. (Téléchargeable sur le site : www.paris.fr)

PARIS MÉTROPOLÉ : *Conférence métropolitaine sur l'eau et l'assainissement*, Actes de la conférence du 2 avril 2013, Paris, Mairie de Paris, direction de la propreté et de l'eau, Paris Métropole, 2014. (Téléchargeable sur le site : www.paris.fr)

Résumé

F. BERTRAND, M. GUILBAUD

Eau non potable et enjeux urbains et environnementaux. Le cas du réseau parisien

Le conseil de Paris a délibéré, le 19 mars 2012, en faveur du maintien du réseau d'eau non potable (ENP) et des perspectives de développement de ses usages et de son extension géographique. Cette décision a relancé les études sur les trois axes majeurs d'utilisation à moyen ou à long terme du réseau d'ENP : la diversification des sources d'alimentation du réseau (eaux de surface, souterraines, réutilisées, de pluie...), la prise en compte des dimensions bioclimatique et de métropolisation du réseau.

Aborder la valorisation de cette eau par des questions urbaines et environnementales, c'est aller vers une conception urbaine dynamique, transversale et intégrée, seule démarche à même de fonder une politique de développement durable.

Trois axes structurent les études en cours : la valorisation de la ressource en eau non potable dans la ville, les enjeux de réseaux d'eau non potable dans la métropole, l'identification des ressources en eau.

Abstract

F. BERTRAND, M. GUILBAUD

Urban and environmental issues and non-potable water. The case of the Paris network

On March the 19th, 2012, the City Council of Paris decided to maintain the non-potable water network (ENP) and to encourage the development prospects of its uses, as well as its geographical extension. This decision has revived researches on three major leads about its medium and long term use: the diversification of its sources of supply (surface water, groundwater, recycled, rain...), the consideration of its bioclimatic issues, and its development to a metropolitan scale.

Questioning the valorisation of this water from the urban and environmental angles means heading toward an assimilated, cross-disciplinary dynamic, which is the only way to establish a sustainable development policy.

The ongoing studies focus on three main topics: the valorisation of non-potable water resource in the city, the non-potable water networks issues in the metropolitan area, the identification of water resources.



La collection est maintenant complète!

La nature et les causes des risques sanitaires liés à la consommation d'eau contaminée sont multiples et le rôle joué par le réseau de distribution est loin d'être négligeable. Retrouvez dans les tomes 2 et 3 de cet ouvrage, **le manuel du parfait opérateur** qui aborde l'exploitation et la maintenance du réseau et les aspects liés à la surveillance permanente de la qualité de l'eau mise en distribution. Ils complètent le tome 1 qui traite de la nature et des origines des problèmes de qualité.

Ces ouvrages s'adressent à l'ensemble des acteurs opérationnels : autorités organisatrices, opérateurs et gestionnaires des services d'eau, responsables institutionnels, maîtres d'œuvre, chercheurs, enseignants et étudiants.

Bon de commande sur le site www.astee.org

