

Effets des sol et sous-sol urbains sur le devenir des eaux pluviales

Georges RAIMBAULT
Chef de la division Eau
Centre de Nantes

Laboratoire central des Ponts et Chaussées

RÉSUMÉ

Les modifications, que l'urbanisation apporte aux transferts de l'eau à l'interface sol-atmosphère et dans les sols, sont analysées à trois niveaux.

À la surface du sol, les limites de la notion d'imperméabilisation, trop simpliste, sont mises en évidence d'une part à travers la variabilité spatiale et temporelle du ruissellement urbain, d'autre part à travers les infiltrations constatées sous des surfaces considérées comme imperméables. Dans le proche sous-sol urbain, des modifications des cheminements de l'eau liées à différents travaux (tranchées de pose des réseaux, de fondations d'ouvrages...), sont mises en évidence à travers des études sur l'infiltration des eaux parasites dans les réseaux d'eaux usées.

À un niveau plus profond, la géométrie des nappes souterraines est modifiée par les prélèvements d'eau ou leur arrêt, mais aussi par des ouvrages souterrains importants qui peuvent rabattre la surface libre ou faire barrage et la remonter. Enfin, les nouvelles techniques d'assainissement pluvial qui tentent de réduire les débits de pointe d'eaux pluviales modifient de façon beaucoup moins importante le segment urbain du cycle de l'eau.

MOTS CLÉS : *Urbanisation - Ruissellement - Infiltration - Eau souterraine - Évacuation des eaux - Eau parasite - Réseau assainissement.*

Introduction

Les modifications que l'urbanisation apporte au cycle de l'eau sont souvent abordées de façon trop schématique. On sait que le développement des villes entraîne une imperméabilisation des sols et, depuis peu, on s'intéresse à la pollution apportée dans les milieux naturels par le ruissellement des eaux pluviales. Mais un examen plus fin du devenir de ces eaux à l'interface sol-atmosphère en ville est possible en analysant les effets de l'urbanisation à trois niveaux, depuis la surface du sol jusqu'aux nappes souterraines permanentes en passant par le sous-sol proche. Ces trois niveaux sont évidemment liés, mais une telle approche permet de mettre en évidence des mécanismes assez variés et peu étudiés. Une première analyse rapide est proposée dans les paragraphes qui suivent.

Parler des modifications apportées par l'urbanisation au cycle de l'eau, sans évoquer les évolutions actuelles dans les techniques d'assainissement pluvial, donnerait une image incomplète de la situation. En effet, ces évolutions permettent de limiter les effets de l'urbanisation sur le cycle des eaux pluviales. Un paragraphe sera donc consacré à ces nouvelles techniques.

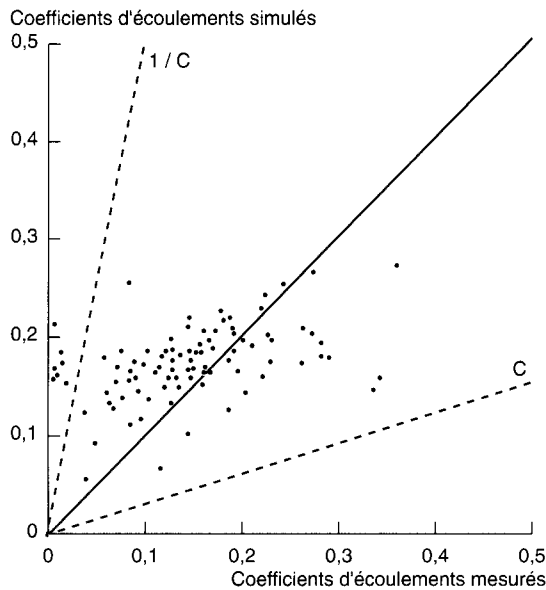


Fig. 1 - Comparaison des coefficients d'écoulement mesurés et simulés par événement sur un bassin versant urbain pavillonnaire de 5 ha.

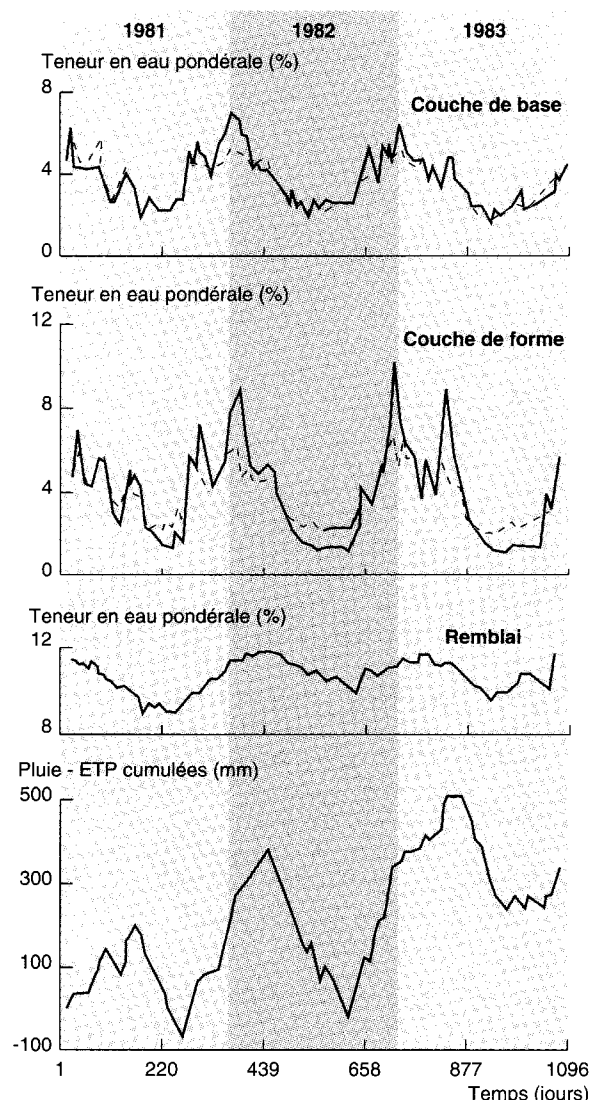


Fig. 2 - Variations des teneurs en eau dans les différentes couches d'une chaussée et comparaison avec le paramètre « pluie-évapotranspiration » cumulé.

Devenir des eaux pluviales à la surface du sol en ville

L'urbanisation entraîne un accroissement important du ruissellement des eaux pluviales, mais il n'est pas possible de réduire le coefficient de ruissellement au coefficient d'imperméabilisation.

Dans certaines études, les sols sont décomposés en :

- surfaces imperméables directement raccordées au réseau d'eaux pluviales,
- surfaces imperméables indirectement raccordées au réseau d'eaux pluviales,
- surfaces perméables directement raccordées au réseau d'eaux pluviales,
- surfaces perméables indirectement raccordées au réseau d'eaux pluviales.

Comment vont réagir ces différentes surfaces à une pluie ? La réponse est variable en fonction de leur répartition et de l'état de saturation des sols, donc des antécédents pluviométriques. Le rapport « volume d'eau écoulee/volume de pluie tombée », appelé par la suite coefficient d'écoulement [1], varie comme le montre la figure 1, correspondant à un lotissement pavillonnaire.

Les coefficients simulés indiqués sur la figure ont été obtenus avec un modèle simple comportant deux réservoirs en parallèle, dont l'un représente le stock d'eau contenu dans le sol. Des recherches sont encore nécessaires pour mieux connaître les variations et les prévoir. Leur besoin se fait plus particulièrement sentir pour améliorer la gestion des bassins de retenue d'eaux pluviales dans une optique de réduction de la pollution rejetée par les déversoirs d'orage par temps de pluie.

Si l'évaluation de la variabilité des coefficients d'écoulement de bassins versants urbains est délicate, l'approche du rôle des surfaces dites « imperméables » l'est aussi. En effet, des études, visant à mieux connaître l'état hydrique des matériaux constituant les chaussées et leur sol-support, ont montré des variations des teneurs en eau en relation directe avec les pluies et l'apparition de « mini-nappes perchées » aux interfaces entre couches de matériaux de perméabilités différentes [9] et [10]. La figure 2 présente les teneurs en eau mesurées pendant trois ans dans différentes couches d'une chaussée, située dans la région nantaise, constituée comme suit :

- couche de roulement : enrobés bitumineux 0/10 en 6 cm,
 - couche de base : grave reconstituée humidifiée 0/20 en 30 cm,
 - couche de forme : grave primaire 0/20 en 40 cm,
 - remblai : schistes décomposés 30 à 50 cm.
- et les variations du paramètre « pluie-évapotranspiration cumulées » utilisé comme un indicateur des conditions météorologiques.

Il apparaît nettement des humidifications rapides pendant les pluies suivies de périodes de drainage relativement lent. La couche de roulement, en bon état, est représentative de beaucoup de chaussées classiques. Des analyses statistiques ont montré que les meilleures variables explicatives de la quantité totale d'eau présente dans la chaussée étaient la durée de pluie du mois précédant les mesures et l'évapotranspiration pour la même période. En fait, le volume d'eau infiltré est limité par la perméabilité du revêtement et la durée des pluies. L'examen de ces résultats montre que l'infiltration annuelle à travers la surface de la chaussée représente 25 à 30 % des pluies. L'infiltration dans l'enrobé est de l'ordre de 10^{-7} m/s. L'existence temporaire d'un niveau saturé en eau au contact entre la couche de forme et le remblai a été mise en évidence par l'écoulement de drains, installés à ce niveau, suite à des périodes pluvieuses. Tous ces résultats conduisent à relativiser la notion d'imperméabilisation en milieu urbain.

Un autre effet des couches dites « imperméables » doit être souligné : elles limitent considérablement ou annulent l'évaporation de l'eau des sols sous-jacents. Des essais d'étanchéification d'aires de stockage de matériaux ont été réalisés avec des enduits bitumineux répandus sur un sol naturel. Les mesures de teneur en eau dans ce dernier ont montré que l'enduit n'était pas imperméable et qu'en période de pluies, l'humidité augmentait. Par contre, en période sèche, l'humidité du sol diminuait très peu ou, en tout cas, beaucoup plus lentement que dans un sol non revêtu. Les revêtements de voirie laissent donc pénétrer une partie des eaux de pluies, mais empêchent presque toute évaporation.

En conclusion, à la surface du sol en milieu urbain, le partage des eaux entre infiltration et ruissellement est très variable spatialement et temporellement. En outre, les conditions d'évaporation sont totalement différentes de celles d'un terrain naturel.

Devenir des eaux dans le proche sous-sol urbain

Le sous-sol urbain le plus proche de la surface (1 à 2 m) est modifié par de nombreux travaux : structures de voies, tranchées de pose des différents réseaux ou nécessaires à la fondation des bâtiments... Les matériaux de remblaiement sont souvent plus perméables que les sols préexistants et il en résulte un réseau potentiel de drainage des eaux s'infiltrant dans le sous-sol urbain. Ce phénomène apparaît plus particulièrement sous les chaussées et dans les tranchées de pose des réseaux. Les points bas des voies peuvent être des zones de concentration des eaux circulant dans le corps des chaussées. Il peut éventuellement en résulter des dégradations.

Le rôle des tranchées de pose des réseaux d'assainissement a été mis en évidence lors d'études relatives aux eaux parasites s'infiltrant dans ces réseaux [3], [6]. Plus particulièrement, ce phénomène est important pour les collecteurs d'eaux usées. Ces eaux supplémentaires provoquent des surcharges à l'entrée des stations d'épuration. Elles sont soit déversées dans le milieu naturel en le polluant, soit envoyées à la station. Dans ce cas, celle-ci ne peut pas toujours les accepter sans perturbation de son fonctionnement (risque de départ de boues entraînant une pollution à l'aval et un dysfonctionnement de la station assez long). Les variations de débit enregistrées en période de pluies peuvent être très importantes.

Une étude détaillée de ces eaux parasites a permis de les décomposer (fig. 3) en deux :

- les eaux de drainage de nappe (débits de base variant lentement),
- les eaux de drainage rapide (réponse aux pluies en quelques jours).

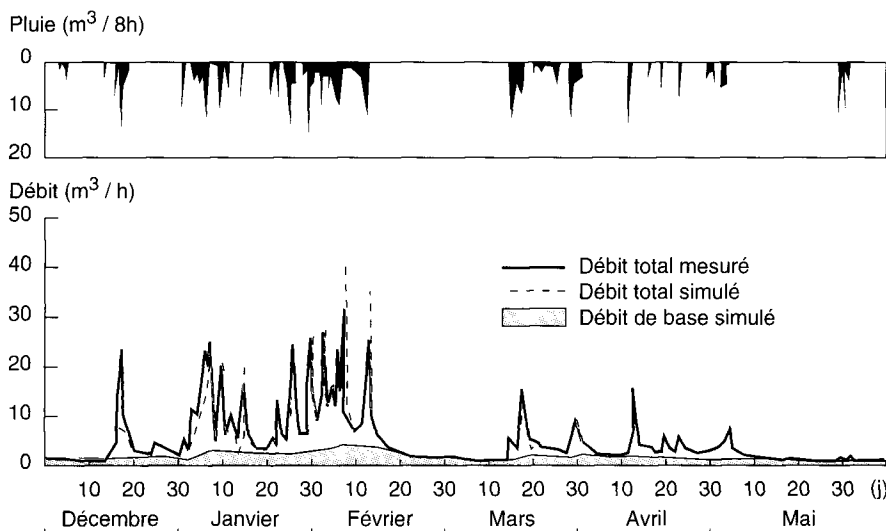
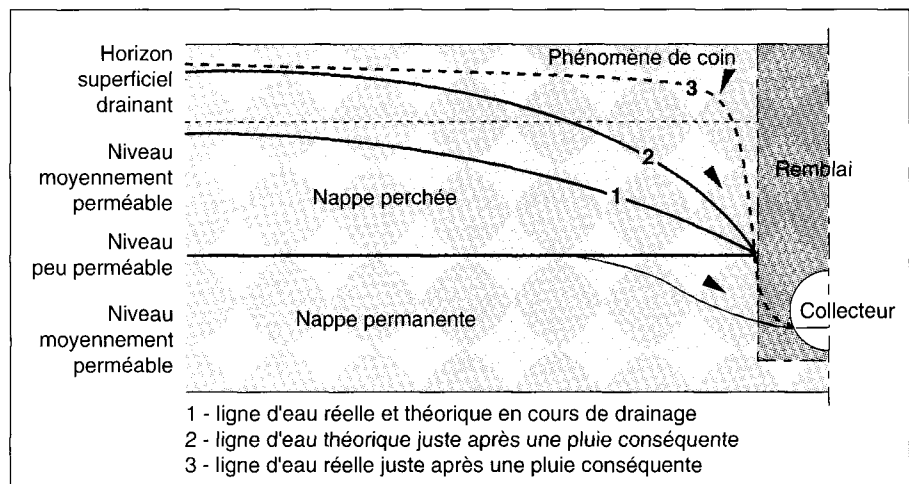


Fig. 3 - Débits d'eaux claires parasites dans un réseau d'eaux usées. Comparaison avec la pluie et les résultats de simulations (période du 1er décembre 1987 au 8 juin 1988).

Fig. 4 - Schématisation des phénomènes de drainage provoqués par les tranchées des réseaux d'assainissement.



Ces dernières font souvent penser à des raccordements illicites d'eaux pluviales sur le réseau d'eaux usées, alors qu'il s'agit de phénomènes d'infiltrations rapides apparaissant lorsque les nappes temporaires superficielles sont proches de la surface du sol.

Globalement de tels réseaux, lorsqu'ils ne sont pas étanches, fonctionnent comme ceux de drainage agricole (fig. 4). Les tranchées étant souvent situées sous la voirie, elles peuvent collecter les eaux circulant éventuellement dans le corps de chaussée comme indiqué plus haut et servir de cheminement préférentiel jusqu'aux exutoires potentiels (défauts d'étanchéité des collecteurs ou autres). Différents types de tranchées peuvent se croiser, ce qui rend difficile la prévision du cheminement réel des eaux.

Les modifications des conditions de drainage du sous-sol apportées par les travaux sont soulignées par des entrepreneurs qui ne peuvent pas entrer, en période humide, avec leurs engins dans certains terrains avant la réalisation des tranchées de pose des différents réseaux.

En résumé, le mouvement des eaux dans le proche sous-sol urbain ne peut être réduit à des écoulements verticaux dans des terrains non saturés. En période pluvieuse, dans de nombreux terrains peu perméables, le fond des tranchées est le lieu de cheminements préférentiels subhorizontaux dans des matériaux saturés.

Quelques effets de l'urbanisation sur les nappes plus profondes

Les effets les plus classiques de l'urbanisation sur les nappes plus profondes sont ceux liés aux modifications des prélèvements ou des alimentations. Une étude sur les variations de la nappe phréatique sous Paris [8] depuis un siècle montre

bien une baisse des niveaux piézométriques sur la rive droite jusqu'aux années 1970-1980, due aux pompages (fig. 5). Ces derniers sont de différents types : pompages industriels, rabattement pour la réalisation de grands travaux, drainage permanent d'ouvrages souterrains...

À partir de 1975, une réduction des pompages (prélèvements situés à 15.10^6 m³ en 1971 contre 5.10^6 m³ en 1982) a entraîné une remontée du niveau de la nappe accompagnée de divers incidents.

Depuis 1983, il semble avoir atteint un « pseudo-équilibre ». Les modifications des réalimentations provoquées par l'urbanisation sont mises indirectement en évidence par l'existence de dômes des nappes sous les Bois de Boulogne et de Vincennes.

Des changements importants des niveaux piézométriques peuvent être liés à la réalisation de travaux. Un premier exemple est fourni par la ville nouvelle d'Evry [13]. La réalisation de la tranchée SNCF a provoqué une baisse de la nappe pouvant dépasser 5 mètres (fig. 6). Le rayon d'action de ces travaux a été évalué à 3 600 mètres. Des rabattements sont aussi dus à la réalisation des collecteurs d'assainissement. Les mécanismes en jeu sont semblables à ceux indiqués pour le proche sous-sol : effet de tranchée lié au remblaiement de celle-ci par un matériau perméable, défauts d'étanchéité des collecteurs servant d'exutoires. Sur un débit total pour l'ensemble du réseau de 13 000 m³/jour, le débit lié aux eaux parasites a été estimé à 10 000 m³/jour. La distance d'action de ce réseau serait de 5 700 mètres (fig. 7) soit supérieure à celle résultant de la tranchée SNCF. Une conséquence non négligeable de cet abaissement de la nappe a été la nécessité d'imperméabiliser artificiellement un plan d'eau de 7 ha. Ce dernier constitue un

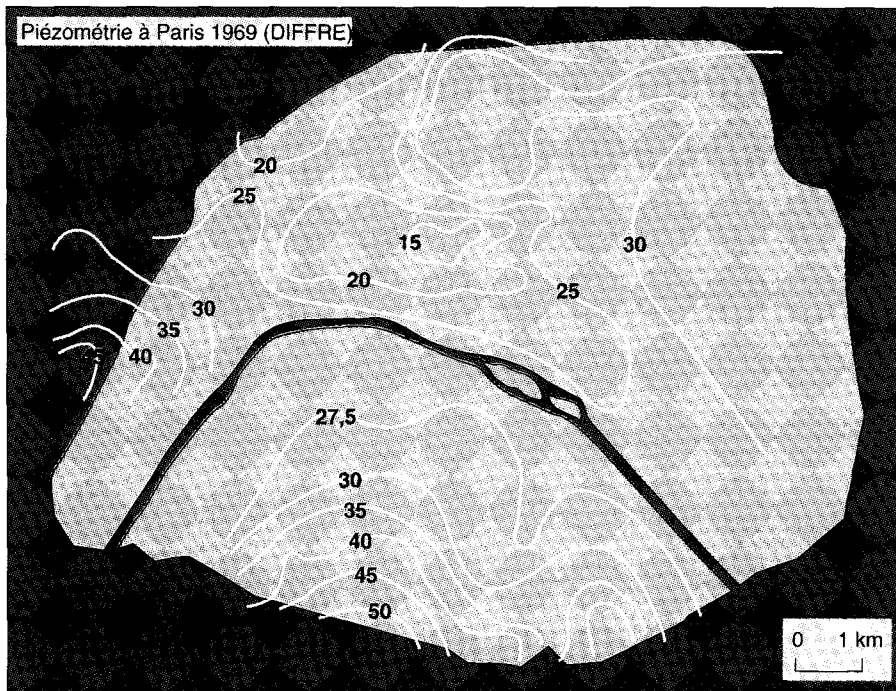


Fig. 5 -
Carte hydrogéologique
de la Ville de Paris
(tirée de DIFFRE,
1969, CSJ).

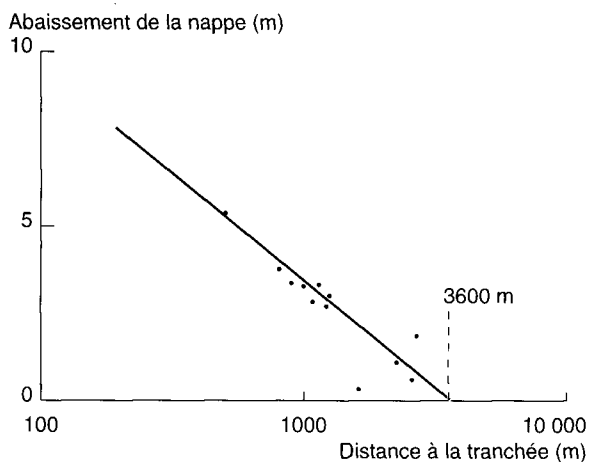


Fig. 6 - Rabattements liés à une tranchée SNCF
(ville nouvelle d'Évry).

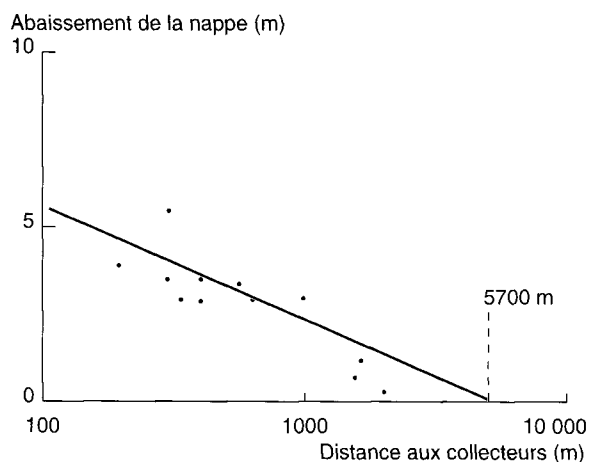


Fig. 7 - Rabattements liés aux collecteurs
(ville nouvelle d'Évry).

bassin de retenue d'eaux pluviales, mais a été conçu comme un plan d'eau permanent servant à la pêche et à la voile. Au moment des études, le niveau de la nappe laissait supposer la réalisation d'un bassin en eau permanent sans précaution particulière.

Des effets opposés à ceux évoqués ci-dessus peuvent être liés aux barrages à l'écoulement des nappes que peuvent provoquer les ouvrages souterrains [4], [12]. L'importance que, sans

précaution particulière, peuvent prendre les variations de niveaux est illustrée par les figures 8 et 9, qui montrent les résultats d'études relatives à l'influence de lignes de métro à Lyon et Marseille.

En résumé les nappes souterraines en milieu urbain sont perturbées à la fois par les difficultés d'alimentation et les pompages, mais aussi par les modifications de leurs conditions d'écoulement liées aux ouvrages profonds.

Fig. 8 - Modélisation des effets du métro et des bassins de la station d'épuration de Marseille sur la piézométrie (cas où le métro est supposé créer une paroi totale).

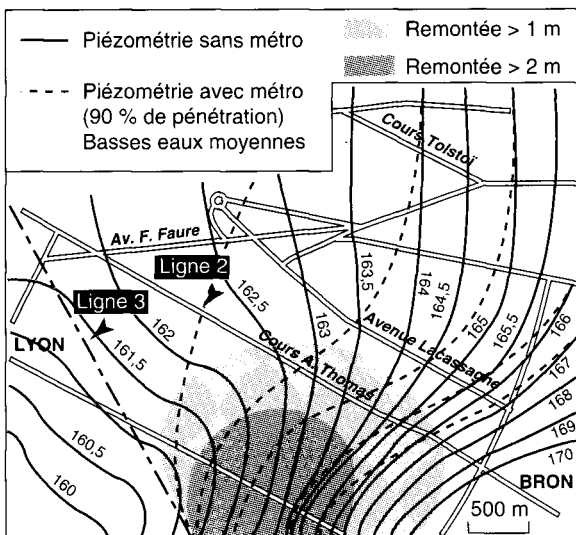
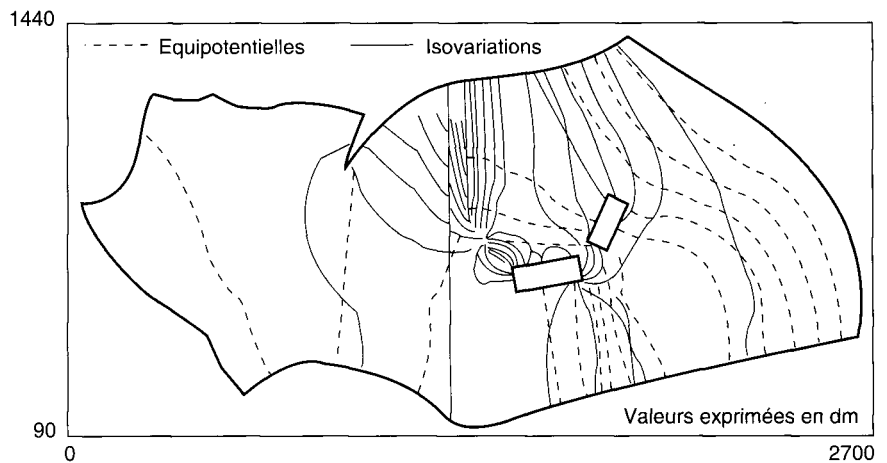


Fig. 9 - Influence des lignes de métro n° deux et trois de Lyon sur la piézométrie (d'après D. Rousselot [13]).

Les évolutions liées aux nouvelles techniques d'assainissement pluvial

Classiquement, l'objectif de l'assainissement urbain est d'éloigner le plus vite possible les eaux hors de la ville. C'est dans cette optique qu'ont été réalisés les réseaux des grandes villes dès le XIX^e siècle. Avec le développement de l'urbanisation, en particulier après la seconde guerre mondiale, l'assainissement pluvial traditionnel a conduit à une impasse sur les plans financiers, urbanistiques et environnementaux. Devant cette situation, il a été nécessaire d'utiliser de nouvelles techniques [2] appelées parfois « alternatives » (à l'assainissement classique) ou « compensatoires » (dans la mesure où elles permettent de compenser les effets négatifs de l'urbanisation vis-à-vis du ruissellement).

Quelles sont les caractéristiques principales de ces nouvelles techniques ? Tout d'abord elles cherchent à laminer les débits de pointe d'eaux pluviales, grâce au stockage temporaire des eaux dans des « réservoirs ». Les rejets dans les milieux naturels, suite à un orage, seront donc moins brutaux. La fonction « réservoir » peut être assurée par des bassins de retenue d'eaux pluviales à sec ou en eau, souterrains ou aériens, paysagers.... Dans ce cas, le stockage est assuré en quelques points du bassin versant. Cette fonction peut être réalisée de façon plus diffuse dans des ouvrages plus modestes comme les fossés, les noues ou le corps d'ouvrages constitués de matériaux très poreux (rues, parkings, terrains de sports....), appelés « structure-réservoirs », car l'équipement a généralement au moins une fonction mécanique (structure) et une fonction hydraulique (réservoir) [11].

Dans la mesure où les conditions locales le permettent, les nouvelles techniques d'assainissement cherchent à infiltrer les eaux pluviales (généralement après stockage temporaire). L'infiltration sera plus aisée si ce dernier est diffus, car les débits à évacuer seront moins importants. Le suivi pendant trois ans d'une chaussée à structure-réservoir située à Rezé (fig. 10), au sud de l'agglomération nantaise, a montré que, même sur un sol peu perméable (limon argileux), une grande partie des eaux pluviales pouvait être infiltrée sans utilisation de l'exutoire latéral situé à la base des matériaux poreux. Au maximum 12,5 % de l'eau tombée pendant un événement a utilisé cet exutoire. L'infiltration est peut-être augmentée par les tranchées de pose de réseaux situés sous la chaussée, comme indiqué au paragraphe 3. Les débits spécifiques de pointe (par hectare imperméabilisé) n'ont représenté au maximum que 15,5 % de ceux mesurés pour un bassin versant urbain voisin traditionnel.

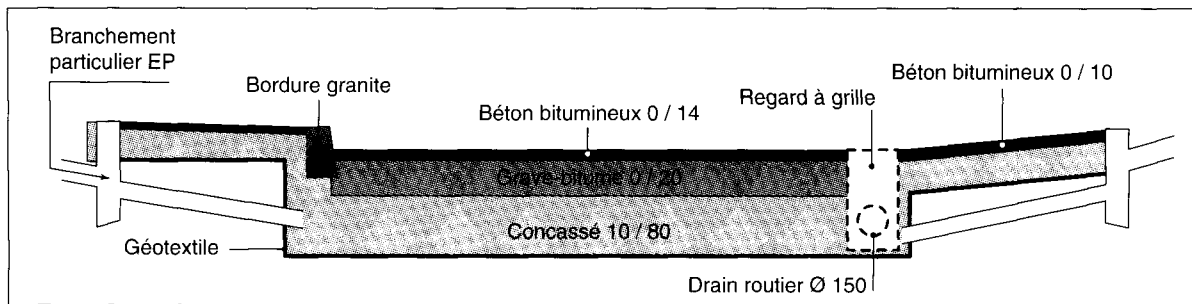


Fig. 10 - Coupe de la structure-réservoir de la rue de la Classerie à Rezé.

Outre ces effets sur le plan hydraulique, les nouvelles techniques d'assainissement ont un effet positif vis-à-vis de la qualité des eaux pluviales. En effet, les bassins de retenue permettent la décantation des matières en suspension sur lesquelles sont fixés la plus grande partie des micropolluants. Dans les structure-réservoirs, ceux-ci sont pour la plupart retenus à la surface des matériaux poreux [7].

Lorsque ces techniques sont utilisées à l'amont de réseaux d'assainissement unitaires (anciens centres villes), les consignes de gestion ont jusqu'à maintenant surtout visé la protection contre les inondations. Des recherches sont nécessaires pour optimiser leur fonctionnement en combinant les objectifs quantitatifs et qualitatifs.

En résumé, les nouvelles techniques d'assainissement pluvial, en réduisant les débits rejetés et en favorisant l'infiltration, conduisent à un cycle urbain de l'eau plus proche de celui préexistant.

Conclusions

Les changements apportés par l'urbanisation aux cheminements de l'eau à la surface et dans le sol ont des effets importants, mais pour cer-

tains mal connus. En particulier, la variabilité du ruissellement pluvial et l'existence de réseaux de drainage préférentiels peu profonds ont des conséquences importantes sur la gestion de la ville par temps de pluie. Les nouvelles techniques d'assainissement pluvial réduisent les modifications apportées par l'urbanisation.

Une analyse à trois niveaux des relations entre l'eau et le sol dans la ville semble intéressante, car les mécanismes en jeu sont différents. Il n'empêche que des avancées dans ce domaine ne seront possibles que si les liens entre ces niveaux sont bien pris en compte.

Les aspects qualitatifs de l'eau n'ont été évoqués qu'au sujet des nouvelles techniques d'assainissement pluvial. Dans une approche de l'ensemble du sujet, ils doivent être traités à tous les niveaux, pour savoir en particulier quelles limites doivent être éventuellement imposées aux techniques d'infiltration et comment gérer les ouvrages pour réduire les impacts des réseaux existants sur les milieux récepteurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ANDRIEU H., BELHADJ N., JOANNIS C., RAIMBAULT G. (1993), *Urban runoff coefficient variability*. 6th Int. Conf. on Urban Storm Drainage. Niagara Falls (Canada) sept., edited by Jiri Marsalek and Harry C. Torno, vol. I, pp. 597-602.
- [2] BALADES J.-D., RAIMBAULT G. (1990), Urbanisme et Assainissement pluvial, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, **170**, nov.-déc, pp. 47-59.
- [3] BREIL P., JOANNIS C., RAIMBAULT G., BRISAUD F., DESBORDES M. (1993), Drainage des eaux claires parasites par les réseaux souterrains. De l'observation à l'élaboration d'un modèle prototype, *La Houille Blanche*, **1**, pp. 45-57.
- [4] BRISSON J.-L., RAT M. (1981), Impact hydrogéologique de la station d'épuration de Marseille, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, **112**, mars-avril, pp. 118-121.
- [5] DIFFRE (1969), *Géologie dynamique. Hydrologie de Paris et de sa banlieue*, thèse de doctorat, Paris, 345 pages.
- [6] JOANNIS C., BELHADJ N., RAIMBAULT G. (1994), *Le drainage d'eaux claires parasites par les réseaux d'assainissement en période pluvieuse*, Hydrotrop, Marseille 12-15 avril, Colloque scientifique et technique international « Mieux gérer l'eau ».

- [7] LEGRET M., COLANDINI V., LE MARC C. (1995), Impact d'une chaussée à structure-réservoir sur la qualité des eaux pluviales et du sol, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, **197**, mai-juin, pp. 25-31.
- [8] PRUNIER-LE PARMENTIER A.-M. (1991), Évolution de la nappe phréatique depuis un siècle dans Paris et niveaux connus en 1990, *Revue française de Géotechnique*, **56**, juil., pp. 67-75.
- [9] RAIMBAULT G. (1986), Cycles annuels d'humidité dans une chaussée souple et son support, *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, **145**, sept-oct., pp. 79-84.
- [10] RAIMBAULT G., SILVESTRE P. (1990), Analyse des variations d'état hydrique dans les chaussées, *Bull. liaison Labo P. et Ch.*, **167**, mai-juin, pp. 77-84.
- [11] RAIMBAULT G. (1994), *Structure-réservoirs et réduction du ruissellement*, Hydrotop, Marseille, 12-15 avril, Colloque scientifique et technique international « Mieux gérer l'eau ».
- [12] RAT M., HUMBERT P. (1981), Hydrogéologie et études d'impact, *Bull. liaison Labo P. et Ch.*, **112**, mars-avr. pp. 101-106.
- [13] ROUSSELOT D. (1977), De l'utilité d'une bonne connaissance du comportement des aquifères pour les travaux de génie civil. Quelques exemples concrets pris à Lyon, *Annales ITBTP*, **35**, nov.
- [14] TOMACHOT M. (1986), *Impact d'un aménagement urbain sur une nappe aquifère. Cas de la ville nouvelle d'Evry (Essonne)*, S.H.F. XIX^e Journées d'hydraulique, Paris, sept., p. II-3-1 - II-3-8.

Cet article reprend le contenu d'une communication présentée par l'auteur aux journées d'étude « L'eau et l'utilisation des sols », organisées par l'Association internationale des Entretiens écologiques (AIDEC) à Dijon les 14, 15 et 16 mars 1994.

ABSTRACT

The effects of urban soils and subsoils on the run-off and seepage of rainwater

G. RAIMBAULT

The modifications caused by urban development to transfers of water at the ground-air interface and in the soil are analysed at three levels. On the surface of the ground, the limitations of the over-simplified notion of waterproofing are revealed, in terms of the spatial and temporal variability of urban run-off and in terms of seepage observed under surfaces regarded as waterproof. In shallow urban subsoil, modifications in what happens to water caused by various operations such as trench digging and pipe laying, structural foundations, etc. are revealed through studies of the seepage of unwanted water into sewage systems. At a deeper level, the geometry of the water table is modified not only by the extraction of water from it (or its cessation), but also by large-scale underground structures which can lower the level of the water table or create a dam and cause the level to rise. New techniques of rainwater drainage, which attempt to reduce peak rainwater flow, modify the urban water cycle to a much lesser extent.