



document public

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
MINISTERE DE L'EQUIPEMENT
SECRETARIAT PERMANENT DU PLAN URBAIN

**la remontée
des nappes d'eau souterraine
en site urbain**

**Aspects techniques, socio-économiques,
réglementaires et juridiques**

Rapport de synthèse

décembre 1993
R 30 288 4S/GEG-93

numéro de référence C06800004

**BRGM
SERVICES SOL ET SOUS-SOL
Direction Ingénierie Géotechnique**

**SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Service Public
B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2 - Tél. : 38.64.34.34**

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE
MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT
(Secrétariat Permanent du Plan Urbain)

BRGM
Services Sol et Sous-Sol
Ingénierie Géotechnique
Service Géologique National
Service Public

LA REMONTEE DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE EN SITE URBAIN

Aspects techniques, socio-économiques, réglementaires
et juridiques

Rapport de synthèse

RÉSUMÉ

Les fluctuations du niveau des nappes d'eau souterraine sont influencées non seulement par les conditions naturelles (essentiellement par la pluviométrie et le niveau des cours d'eau), mais aussi et de plus en plus par les conséquences des activités humaines.

D'une manière générale, au droit de certains centres urbains, industriels ou miniers, alors que ces activités humaines ont entraîné depuis les années 1870 l'abaissement progressif du niveau piézométrique des nappes aquifères exploitées, l'évolution de l'industrie et de l'urbanisme à partir des années 1970 s'est traduite par une remontée des eaux souterraines.

Illustrée par quelques cas récents en France et à l'Etranger, le présent rapport expose les conclusions de différentes approches de ce phénomène de remontée de nappes, à l'issue des recherches effectuées pour le Secrétariat Permanent du Plan Urbain, dans le cadre du programme finalisé "L'eau dans la ville" :

- les aspects hydrogéologiques et géotechniques. Quelles sont les conséquences potentielles sur les ouvrages et l'environnement ?
- les aspects économiques. Quel est le coût des dommages induits ?
- les aspects règlementaires et juridiques. Quels sont les recours possibles ?
- le comportement des acteurs sociaux. Comment le phénomène est-il perçu ? Comment sont élaborées les solutions aux situations critiques ?

En conclusion sont étudiées les mesures et dispositions préventives, susceptibles de maîtriser les conséquences dommageables des remontées de nappes d'eau souterraine, parallèlement à une meilleure gestion de l'espace souterrain.

Les études, objet de la présente synthèse, ont été financées par le Secrétariat Permanent du Plan Urbain (dans le cadre du programme finalisé "L'eau dans la ville") et par le Ministère de l'Industrie (dans le cadre de la mission de service public régie par la convention Etat-BRGM). Elles ont été présentées au colloque "L'eau dans la ville", organisé par le Plan Urbain à Nancy les 15 et 16 novembre 1990.

Les aspects hydrogéotechniques ont été étudiés par le BRGM (MM. DEBUSSION, MICHALSKI et RAMPON, avec la collaboration des Services Géologiques Régionaux Alsace, Haute-Normandie, Ile-de-France, Nord-Pas-de-Calais et Rhône-Alpes).

Les aspects socio-économiques ont été étudiés par le CERPE (Centre d'Etudes et de Recherches sur les Pratiques de l'Espace à Aix-en-Provence - Mme DOURLENS), et par le CREAM (Centre de Recherches et d'Etudes en Aménagement à Strasbourg - Melle MEYER et M. SALVAN).

Les aspects réglementaires et juridiques ont été étudiés par l'Institut du Droit de l'Environnement de Lyon (Melle ZAMUTH et M. UNTERMAIER).

A ces diverses études, ont notamment apporté leur contribution les membres suivants du groupe de travail constitué sous l'égide du SPPU :

- l'Agence Financière de Bassin Seine-Normandie (Melle SAMSON et M. KEPES)*
- la Direction Régionale de l'Equipement Ile-de-France (M. LACHAIZE)*
- l'Inspection Générale des Carrières de la Ville de Paris (M. LAROCHE)*
- la SMABTP (Société Mutuelle d'Assurance du Bâtiment et des Travaux Publics - M. AUSSEUR)*
- SOCOTEC (M. BLONDEAU).*

SOMMAIRE

	Pages
RÉSUMÉ	
PRÉAMBULE	1
INTRODUCTION	1
1 - LES FLUCTUATIONS DU NIVEAU DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE ET LES CONSÉQUENCES DES REMONTÉES	2
1.1 - Le niveau des nappes d'eau souterraine fluctue en régime naturel	2
1.2 - L'exploitation ou l'exhaure des eaux souterraines ajoutent leur propre influence sur le niveau des nappes	4
1.3 - L'exploitation ou l'exhaure des eaux souterraines ne sont pas les seuls facteurs qui influencent le niveau des nappes	7
1.4 - Quelles sont les conséquences des remontées de nappe sur les ouvrages et l'environnement ?	13
1.5 - Est-il possible de prévoir jusqu'où le niveau des nappes d'eau souterraine peut remonter ?	20
2 - LA PERCEPTION ET LE TRAITEMENT CURATIF DU PHÉNOMÈNE DES REMONTÉES DE NAPPE	22
2.1 - Comment ce phénomène des remontées de nappes est-il perçu par les acteurs sociaux ?	22
2.2 - Quels sont les recours possibles ? Quels sont les critères de décision des tribunaux ?	24
2.3 - Quelques cas d'évolutions de situations critiques ou conflictuelles en France et à l'étranger	27
2.4 - Quelles sont les solutions techniques curatives envisageables ? Combien coûtent les dommages induits par les remontées de nappes ?	33
3 - LE TRAITEMENT PRÉVENTIF DES REMONTÉES DE NAPPES D'EAU SOUTERRAINE	35
3.1 - Améliorer la conception et la gestion des projets de construction et d'aménagement	36
3.2 - Améliorer les outils de gestion des eaux souterraines... et superficielles	39
3.3 - Assurer la gestion de l'espace souterrain et diffuser l'information quant aux objectifs et aux résultats	40
CONCLUSION	41
BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE	45

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 - Fluctuations naturelles du niveau piézométriques	3
Figure 2 - Piézométrie 1900 - 1990 - Nappe de la craie à Rieulay	5
Figure 3 - Bilan hydraulique d'un ensemble aquifère	12
Figure 4 - Ville de Paris rive droite - Parkings souterrains inondés (extrait du rapport BRGM 83 SGN 353 EAU)	14
Figure 5 - Ville de Paris rive droite - Exemples des conséquences des remontées de la nappe en sous-sol (extrait du rapport BRGM 83 SGN 353 EAU)	15
Figure 6 - Principaux sites concernés par les remontées de nappe	21
Figure 7 - Ville de Lyon : tracés de remontées prévisibles maximales de la nappe par simulation de l'arrêt des pompages du Grand Camp (d'après D. ROUSSELOT, 1977)	28
Figure 8 - Croquis schématique de la région parisienne : abaissement de la nappe des sables yprésiens depuis un siècle (d'après Ph. DIFFRE, 1969)	31
Figure 9 - Piézométrie 1972 - 1990 - Nappe du Lutétien et de l'Yprésien à Paris	32

Préambule

Il peut paraître pour le moins surprenant de présenter une synthèse sur les remontées de nappe d'eau souterraine, alors que tous les esprits ont été beaucoup plus tournés vers les incidences de la sécheresse subie par la France depuis l'hiver 1988-1989. Mais cette première réaction passée, le lecteur constatera que ces deux phénomènes peuvent se dérouler de manière concomitante (cf. le retour depuis l'été 1993 de pluviométries exceptionnelles dans certaines régions).

La sécheresse et ses influences, étiage des rivières et abaissement des niveaux des nappes d'eau souterraine, ainsi que les périodes très pluvieuses et leur cortège de crues et d'inondation des cours d'eau et de recharge des aquifères sont des phases limitées du cycle de l'eau et entrent dans les éléments statistiques de caractérisation des variations normales des phénomènes naturels.

La notion de remontée de nappe (on pourrait dire de remontée artificielle de nappe), comparable d'ailleurs à celle de dépression de nappe, implique, au delà des fluctuations de niveaux d'eau engendrées par les variations naturelles des apports de pluie efficace, l'examen des comportements et des impacts de l'activité humaine. Un ensemble de prélèvements groupés et permanents entraîne la création d'un cône de dépression dans la surface de la nappe ; tout arrêt de ces prélèvements se manifeste par le "comblement" de ce cône de dépression.

Il convient donc de bien avoir à l'esprit le côté anthropique de ces variations supplémentaires des niveaux d'eau souterraine pour tenter de les intégrer dans les processus de gestion des aquifères, en analyser les composantes, en prévoir, si ce n'est prévenir, les incidences et les inconvénients.

Un très grand nombre d'acteurs ont une influence, consciente ou non, sur le milieu naturel et notamment les eaux souterraines. Une bonne gestion des aquifères doit tenir compte de tous les types de comportements, de toutes les motivations techniques et économiques des intervenants publics ou privés, grands aménageurs ou simples utilisateurs du sous-sol. La diversité de ces comportements et motivations nécessite une analyse de leurs influences réciproques pour tendre, par une définition appropriée à l'aquifère concerné, à la mise en place de systèmes d'action et de contrôle reposant sur un consensus.

INTRODUCTION

Le développement urbain et industriel s'est largement appuyé sur l'exploitation des ressources aquifères du sous-sol. Des prélèvements de plus en plus importants ont ainsi contribué à abaisser régulièrement le niveau des nappes d'eau souterraine.

Depuis une vingtaine d'années, la diminution des pompages dans de nombreuses agglomérations provoque une remontée progressive des eaux souterraines, qui engendre ou engendrera des conséquences dommageables (inondation, dégradation, rupture) pour certains immeubles, aménagements et réseaux souterrains, conçus en ne prenant pas en compte, ou insuffisamment, l'éventualité de cette variation.

Par ailleurs, du fait de l'accroissement des coûts fonciers et des exigences d'amélioration du cadre de la vie urbaine, le développement actuel et futur des travaux et aménagements souterrains provoquera de nouvelles modifications, d'importance et d'extension variables, dans le régime et la qualité des eaux souterraines sous les grands centres urbains ou industriels.

Afin d'aider à la résolution de situations conflictuelles, mais surtout afin de définir les mesures, et dispositions préventives, susceptibles de maîtriser les conséquences dommageables des remontées de nappe, le Secrétariat Permanent du Plan Urbain a confié au BRGM, dans le cadre du programme finalisé "L'eau dans la ville", la constitution d'un groupe de travail interdisciplinaire, puis la coordination de diverses recherches (hydrogéotechniques, réglementaires et juridiques, et socio-économiques) sur le problème des "remontées de nappes d'eau souterraine en site urbain".

Ces recherches, dont les points principaux sont exposés ci-après, ont été réalisées par le BRGM, le CERPE (Centre d'Etudes et de Recherches sur les Pratiques de l'Espace), le CREAM (Centre de Recherches et d'Etudes en Aménagement), et l'Institut du Droit de l'Environnement, avec la collaboration des principaux membres du groupe de travail : l'Agence Financière de Bassin Seine-Normandie, la Direction Régionale de l'Equipement Ile de France, l'Inspection Générale des Carrières de la Ville de Paris, la SMABTP (Société Mutuelle d'Assurance du Bâtiment et des Travaux Publics) et SOCOTEC.

1 - LES FLUCTUATIONS DU NIVEAU DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE ET LES CONSÉQUENCES DES REMONTÉES

1.1 - LE NIVEAU DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE FLUCTUE EN RÉGIME NATUREL

Les "réservoirs" d'eau souterraine que constituent les "aquifères" sont caractérisés à la fois par leur capacité d'accumulation (quantifiée par le coefficient d'emmagasinement) et la vitesse de circulation des eaux (quantifiée par la perméabilité). Cette double fonction d'accumulateur et conducteur hydraulique assure la pérennité de la plupart des nappes d'eau souterraine et la régularité des écoulements de leurs émergences (les sources et la majeure partie des débits de basses eaux des rivières). Par contre, l'alimentation des nappes est en général irrégulière et discontinue, surtout celle des nappes dites "libres" (les premières accessibles par les puits ordinaires), qui sont alimentées pour l'essentiel par l'infiltration des pluies (cf. figure 1).

Ainsi, de même que les variations de trésorerie épongent les déphasages entre crédits et débits, les variations du stock d'eau des aquifères amortissent les écarts entre alimentation et émergences, et ces variations de la réserve en eau souterraine se manifestent par des fluctuations de niveau observables dans les forages et les puits.

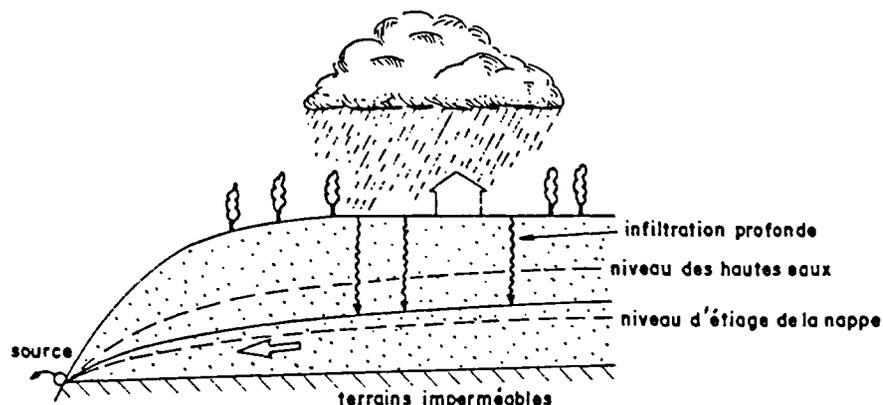
Les variations du niveau des nappes ne sont pas identiques ni synchrones en tous points d'une même nappe, ni surtout entre nappes différentes. Elles sont très faibles au voisinage des limites de l'aquifère bordé par un plan d'eau assez stable (lac ou rivière, sauf pendant les périodes de crue). L'amplitude des variations augmente au contraire au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ces limites.

Selon les régions et leur climat, selon les étendues et les configurations des aquifères, les régimes naturels des variations de niveau sont surtout annuels (avec des différences d'amplitude entre années "sèches" et années "humides"), mais il existe aussi des variations pluriannuelles, comme pour la pluviométrie. D'une manière générale, les périodes de baisse de niveau (correspondant à une "décharge de la nappe") ont des durées plus longues que les périodes de montée du niveau ("recharge de la nappe"), lesquelles sont davantage liées aux conditions météorologiques. Pour une nappe libre, ceci n'est que la traduction du fait qu'elle débite en permanence un flux assez régulier tandis qu'elle n'est alimentée que par à coups, avec des quantités irrégulières.

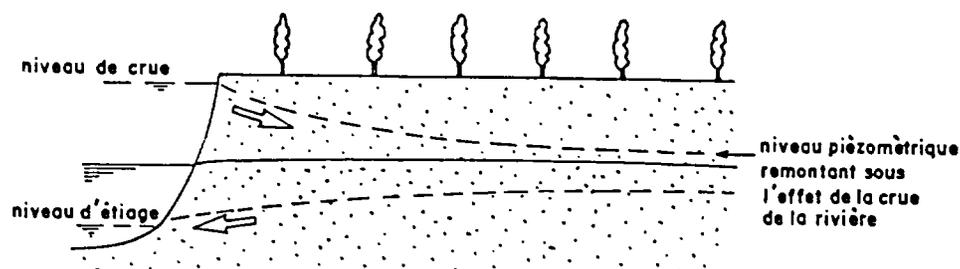
Les amplitudes de ces variations sont très diverses en France, depuis moins d'un mètre jusqu'à plusieurs dizaines de mètres (c.f. le Bulletin interministériel "Situations hydrologiques et prévisions de basses eaux", édité par le BRGM depuis 1976).

Pour toutes ces fluctuations du niveau des nappes d'eau souterraine, liées uniquement aux variations naturelles des conditions d'alimentation, de stockage et d'émergence des aquifères, dans un secteur non influencé par les interventions humaines (ou même dans un secteur influencé, mais de manière connue et quantifiable), si l'on dispose de longues séries de relevés piézométriques de niveau, il est possible de traiter ces données de manière statistique (comme pour les hauteurs de précipitations, ou les niveaux ou débits des rivières), et de définir des niveaux caractéristiques : niveau moyen, niveau (de hautes eaux ou de basses eaux) atteint au moins 1 fois tous les 5 ans, 10 ans, etc., niveaux extrêmes historiques. De même, on peut traiter statistiquement l'amplitude des fluctuations naturelles du niveau des nappes.

Fluctuations naturelles du niveau piézométrique



Les eaux de pluies ruissellent, s'évaporent dans l'atmosphère ou sont utilisées par la végétation, ou bien enfin s'infiltrent profondément et alimentent les nappes d'eau souterraine. Cette partie des précipitations, appelée "pluie efficace", varie en fonction des saisons et des années (années "sèches" ou "humides"), ce qui provoque des fluctuations "saisonnnières" et "interannuelles" du niveau piézométrique. Ces fluctuations sont plus fortes lorsqu'on s'éloigne des exutoires de la nappe.



En période sèche, le niveau de la rivière baisse et elle n'est plus alimentée que par les eaux souterraines, dont le niveau s'abaisse en conséquence. En période humide, la rivière reçoit les eaux de ruissellement, son niveau remonte et elle peut alimenter la nappe à son tour, et notamment lors des crues.

On retiendra que la durée de la crue du cours d'eau est un facteur plus important que son amplitude, pour l'alimentation de la nappe et l'élévation du niveau piézométrique.

Par ailleurs, au fur et à mesure que l'on s'éloigne des berges, l'amplitude de "l'onde de crue" diminue, sa durée augmente ainsi que le décalage dans le temps avec la crue de la rivière.

Figure 1

1.2 - L'EXPLOITATION OU L'EXHAURE DES EAUX SOUTERRAINES AJOUTENT LEUR PROPRE INFLUENCE SUR LE NIVEAU DES NAPPES

Tout captage local d'eaux souterraines fait baisser le niveau de la nappe tout autour, avec une amplitude et une extension, une rapidité et une durée, qui varient selon les terrains et les volumes prélevés. Si le débit de pompage est relativement continu et constant, la valeur de cet abaissement ("**rabattement**") se stabilise, sans effacer les fluctuations naturelles de la nappe, dont le niveau évolue seulement plus bas.

Les influences de tous les captages qui exploitent une même nappe s'additionnent : lorsqu'ils sont assez rapprochés et importants, ils déterminent une véritable "**dépression régionale**", et tout supplément de prélèvement (captage nouveau, ou accroissement de débit d'un ouvrage existant) y entraîne automatiquement un supplément de baisse.

L'alimentation en eau potable, agricole ou industrielle ne constitue pas la seule cause des prélèvements les plus importants d'eaux souterraines. Ainsi, l'exploitation des mines et carrières, à ciel ouvert ou souterraines, ne peut se faire sans dénoyage des terrains concernés, et les exhaures atteignent des débits considérables en fonction de l'extension et de la profondeur des extractions. Ainsi, également, mais à une échelle moindre, les **grands aménagements urbains** (sous-sols et parkings enterrés d'ensembles immobiliers divers, voies de communication et autres infrastructures urbaines souterraines) nécessitent généralement des pompages d'exhaure pendant les travaux, voire même des pompages permanents ou saisonniers pour maintenir le niveau de la nappe à une cote fixée par les concepteurs en fonction de critères d'économie et de sécurité du projet.

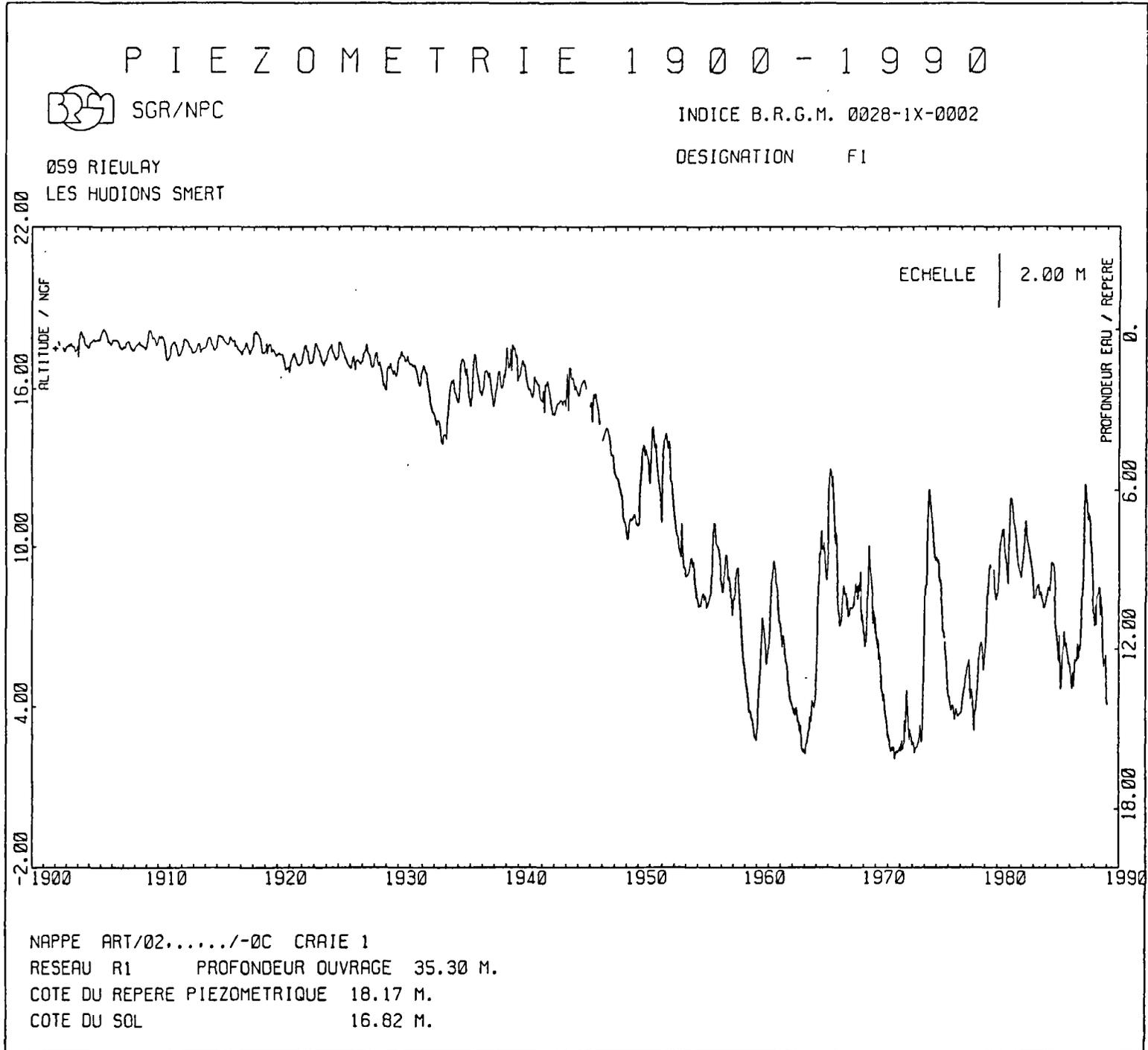
Sous certains grands centres urbains, industriels ou miniers, les effets de tous ces prélèvements intensifs (alimentation en eau et exhaure) se cumulent, et des **baisses de niveau moyen annuel de plusieurs dizaines de mètres** (parfois plus de 100 m) se sont produites depuis le début de la révolution industrielle au 19^e siècle et lors de la reprise de la croissance économique et du développement urbain après la 2^e guerre mondiale (cf. figure 2).

Cependant, cette influence des prélèvements d'eau souterraine est **réversible** : toute réduction des débits pompés ou exhaurés, a fortiori tout arrêt de captage déterminent un nouvel équilibre dynamique, en provoquant cette fois une hausse du niveau des eaux souterraines, hausse ample et rapide au début et au voisinage des ouvrages, hausse d'autant plus faible, lente et différée que l'on s'éloigne de ces ouvrages. Ces variations à la hausse peuvent apparaître plus rapides et perceptibles lorsqu'elles coïncident avec des années "humides" (des apports naturels plus abondants rechargent davantage les nappes), ou au contraire se trouvent atténuées ou masquées en années "sèches". Lorsque la réduction des prélèvements se généralise ou se prolonge dans une région, la hausse des niveaux des nappes d'eau souterraine présente elle-même une amplitude, une extension et une durée à la mesure de la dépression qui s'était formée antérieurement.

C'est cette hausse qui est qualifiée à juste titre de "**remontée**", puisqu'il s'agit d'une tendance au retour à un niveau antérieur naturel, moins influencé par les interventions humaines.

Signalons toutefois que cette remontée n'est pas nécessairement symétrique du rabattement antérieur, car la structure de l'aquifère et les conditions à ses limites ont pu subir des transformations entre temps.

Figure 2



Précisons également les **principales causes de réduction ou d'arrêt des pompages** :

● **Mines et carrières, à ciel ouvert ou souterraines :**

- réduction progressive de l'exploitation , puis **cessation d'activité**. Cas des bassins miniers de Saint-Etienne, et du Nord Pas de Calais notamment.
- situations conflictuelles, liées par exemple à la proximité de captages AEP ou bien d'aquifères à protéger vis à vis de besoins futurs. Cas des carrières de calcaire de la région de Boulogne, ou de l'Avesnois, après la sécheresse de 1976, en attendant les résultats d'études hydrogéologiques et l'issue des concertations entre les diverses parties concernées.

● **Activités industrielles ou agricoles :**

- changement ou cessation d'activité, **transfert hors des zones urbaines**,
- dégradation des installations de pompage, ou de la qualité des eaux souterraines, alimentation à partir d'eaux de surface ou du réseau public local,
- surtout, **amélioration des procédés de fabrication, recyclages** (maîtrise des coûts de production, gains de compétitivité).

● **Captages AEP :**

- abandon de forages privés après raccordement au réseau public,
- **dégradation de la qualité ou difficultés de protection** de cette dernière, d'où déplacement de champ captant (recherche d'autres sources d'approvisionnement, de meilleure qualité, mieux protégées, plus profondes ou plus éloignées des centres urbains).

● **Grands chantiers :**

- achèvement de grands aménagements urbains en souterrain avec exhaure important (RER, espaces commerciaux ou de loisirs, etc.)

Ainsi, dans Paris et la proche banlieue, les prélèvements ont été réduits de près de 60 % en moins de 20 ans : de 3 m³/s en 1965 à 1,2 m³/s en 1983. De même pour le secteur central de Londres : de 140 l/s en 1964 à 60 l/s en 1984.

1.3 - L'EXPLOITATION OU L'EXHAURE DES EAUX SOUTERRAINES NE SONT PAS LES SEULS FACTEURS QUI INFLUENCENT LE NIVEAU DES NAPPES

De nombreuses activités humaines sont susceptibles d'avoir une influence sur le niveau des nappes. Ces activités peuvent être caractérisées selon différents critères :

- influence directe ou indirecte, faible ou importante, localisée ou étendue,
- influence durable, temporaire ou épisodique,
- impact prévu, ou bien involontaire, imprévu.

Nous les classerons ici selon d'autres critères, à savoir l'influence sur les conditions d'alimentation ou d'émergence des aquifères, ou bien sur la structure du sous-sol et les conditions de stockage ou de circulation des eaux souterraines (cf. figure 3).

En restant dans le cas des remontées de nappe, citons quelques exemples.

a - Certaines activités humaines augmentent les apports directs aux nappes

Ces apports peuvent être involontaires, et non directement perçus. Il s'agit généralement de fuites des réseaux d'adduction et d'assainissement des eaux, situés au dessus de la nappe. En France, on a estimé le débit de ces pertes entre 0,8 et 10 m³/s pour certaines grandes villes, et entre 10 et 15 m³/habitant/an pour les villes moyennes de moins de 100 000 habitants. Des travaux de réhabilitation et d'étanchéification de ces réseaux, souvent anciens, ont été entrepris depuis quelques années en France comme dans de nombreux pays développés. Dans les pays en voie de développement (Egypte par exemple), de nombreuses métropoles, dont l'extension a été très rapide et les réseaux construits ou étendus plus récemment, sont également affectées par ce phénomène.

Les apports aux nappes peuvent être réalisés sciemment, sans que leur impact sur le régime ou la qualité des eaux souterraines soit toujours suffisamment bien perçu ou maîtrisé. De tels apports sont réalisés au moyen d'ouvrages (bassins ou puits) permettant l'infiltration ou l'injection :

- d'eaux superficielles, de façon à recharger artificiellement une nappe et en soutenir les capacités en période d'étiage ;
- d'eaux refroidies après utilisation thermique (cas de la plaine d'Alsace) ;
- d'eaux usées (assainissement individuel, bassins d'usines agroalimentaires comme dans la Somme, etc.).

Mais il peut s'agir aussi, tout simplement, d'arrosage intensif et d'irrigation, comme par exemple à Raphèle-Moulès (Arles), ou encore au Moyen-Orient (Egypte, Arabie Saoudite) à la suite de la réalisation de grands barrages, ou d'usines de dessalement d'eau de mer, ou de pompages à très grande profondeur.

b - Les écoulements des émergences des nappes sont réduits à la suite de certaines interventions humaines

Dans ce cas également, la cause peut être "sournoise" (imprévue à l'origine, quoique évidente a posteriori) : il peut s'agir de la saturation ou du colmatage de réseaux de drainage, par défaut de conception, surtout défaut d'entretien voire abandon - comme par exemple pour les exploitations agricoles de Raphèle-Moulès (Arles), ou pour certaines pentes à Lyon (méconnaissance du réseau des galeries de drainage gallo-romaines), et plus généralement pour de nombreux versants de basse et moyenne montagne aujourd'hui délaissés par les agriculteurs (ce qui entraîne une recrudescence des glissements et mouvements de terrains divers).

Ou bien il s'agit d'actions volontairement engagées, le plus souvent pour réduire ou éliminer une nuisance, un surcoût de fonctionnement. Cas le plus représentatif : les travaux de **réhabilitation, confortement et étanchement d'ouvrages souterrains** baignés par la nappe réduisent notablement le débit des eaux souterraines drainées antérieurement du fait des défauts d'étanchéité ou de résistance des revêtements (tunnels RATP, réseaux d'assainissement).

c - Les conditions aux limites des aquifères sont modifiées

Le cas des barrages, des digues et des écluses est bien connu : il y a remontée des eaux souterraines à l'amont de ces aménagements hydrauliques. Dans le cas des barrages pour l'aménagement du Rhin ou du Rhône, cette remontée a pu être limitée, après des simulations sur modèles, grâce à l'exécution de travaux d'étanchéité (voiles sous les digues de la chute d'Iffezheim) ou de drainage (collecteur C.N.R. à Lyon en amont du barrage de Pierre-Bénite). Autre exemple : la remontée consécutive à la construction du barrage-écluse d'Aingeray (54) compromettait en périodes de fortes pluies la stabilité du remblai de la voie ferrée Paris-Strasbourg, et un fossé drainant a dû être réalisé.

De même, l'augmentation du débit d'un cours d'eau (par accroissement des rejets-eaux pluviales, exhaure, etc.) ou sa régularisation grâce à des aménagements hydrauliques, peuvent entraîner à l'aval des remontées dans les nappes alimentées par ce cours d'eau : cf. la vallée du Nil après la construction du barrage d'Assouan et l'extension de l'irrigation.

Citons également la remontée du niveau de la mer, pour les régions côtières ou des pays tels que la Hollande (1 m depuis 2 000 ans, prévision de 2 m pour le prochain siècle). Qu'il s'agisse de remontée absolue ou relative (affaissement ou subsidence des couches du sous-sol), le niveau de base des cours d'eau a tendance à s'élever, de même que celui des nappes souterraines en relation avec ceux-ci.

Des pertes d'étanchéité du lit de canaux ou de cours d'eau situés en formations perméables au-dessus de la nappe permettent une alimentation de celle-ci : le niveau des eaux souterraines peut ainsi remonter lorsque l'exécution de travaux de curage supprime le colmatage naturel, ou lorsque l'étanchéité artificielle présente des défauts (cas du quai du Port Saint-Georges à Nancy).

En sens contraire, des travaux de remblaiement de vallons et excavations, avec des matériaux imperméables, modifient des conditions d'écoulement des eaux et peuvent provoquer une remontée en amont de la "barrière hydraulique" : c'est ainsi que des inondations de sous-sol ou de surface ont été causées par le comblement, avec des boues de dragage, d'un bras mort de la Seine à Sotteville-les-Rouen, par le comblement d'une ancienne tranchée de chemin de fer près d'Angers sans précaution de drainage, ou encore par le remblaiement d'anciennes carrières de sables et graviers dans la plaine de Valenton (Val de Marne).

Citons enfin deux autres types de modification des conditions aux limites des aquifères :

- de **longs remblais** (voies de communication, merlons anti-bruits, ...) peuvent ralentir l'écoulement des eaux superficielles et provoquer une infiltration à leur pied (voire une stagnation) ;
- le **déboisement** peut lui aussi entraîner une remontée, par augmentation de l'infiltration et surtout diminution des prélèvements par les racines profondes (plusieurs cas en Afrique du Sud après la coupe de massifs d'eucalyptus pour des opérations d'urbanisation, avec des variations piézométriques de 15 m ou plus).

d - La géométrie et la structure des couches du sous-sol sont modifiées

La création d'obstacles - véritables barrières hydrauliques souterraines - constitue, dans cette catégorie, le facteur le plus fréquent de remontée (à l'amont hydraulique), mais l'importance et l'extension de cette remontée (idem pour l'abaissement à l'aval) peuvent varier considérablement selon le contexte hydrogéologique :

- réalisation de **rideaux de palplanches** le long de rivières ou de canaux. Lors de la mise à grand gabarit du canal de la Moselle près de Neuves-Maisons, les palplanches ancrées dans le substratum étanche ont dû être percées pour réduire les risques d'instabilité liées à une remontée de près de 4 m de la nappe alluviale.
- réalisation de **parois ou de coupures étanches profondes** (parois moulées, injections,...) pour de nombreux **bâtiments et aménagements immobiliers** comportant de nombreux niveaux enterrés. Dans le cas du projet "Marengo" à Toulouse (comportant 3 niveaux de sous-sol à usage de parkings et de gare routière, intégrant un tronçon de métro et s'inscrivant dans un rectangle de 250 m par 125 m), en fonction de la profondeur de la barrière hydraulique constituée par les fondations (atteignant ou non le substratum molassique imperméable), les simulations numériques ont montré que l'impact sur la nappe varie entre moins d'un mètre et plusieurs mètres de remontée au voisinage amont, avec une extension de quelques mètres à une centaine de mètres.
- réalisation d'**infrastructures urbaines** : tranchées et tunnels pour routes, métros et transports interurbains rapides, collecteurs d'assainissement, etc. Comme dans les cas précédents, la conception même et la réalisation de ces ouvrages nécessitent souvent l'exécution de coupures étanches (injections, parois moulées, etc.), mais les dimensions du barrage hydraulique créé par l'ouvrage et ses éventuelles coupures étanches associées sont évidemment plus importantes, et les impacts sur les nappes concernées généralement plus marqués que dans le cas d'un ou plusieurs bâtiments ou aménagements ponctuels.
- pour réduire l'impact visuel et phonique, des voies routières de contournement ou de dégagement des zones urbaines sont prévues en **tranchées**, pouvant atteindre le substratum imperméable de la nappe dans certaines configurations géologiques. Des parois étanches sont alors indispensables, d'où une remontée amont et un abaissement aval (de l'ordre de 2,50 m pour la tranchée de Tournefeuille de la RD 980 à Toulouse), d'où aussi très souvent la nécessité de travaux de rétablissement de la continuité hydraulique de la nappe (tranchées drainantes en arrière des parois étanches et siphons amont/aval).

- l'impact sur la nappe de tunnels de gros diamètre (métro, collecteur) dépend beaucoup des conditions hydrogéologiques : d'une manière générale, il est plus important lorsque l'aquifère est moins perméable, peu épais et que l'écoulement est perpendiculaire à l'ouvrage. Quelques exemples : remontée amont de l'ordre du décimètre dans le cas du projet de métro de Strasbourg (alluvions très perméables) ; remontée pouvant atteindre plusieurs décimètres dans certains secteurs du nouveau collecteur du Naujac à Bordeaux (galerie de 5 m de diamètre avec couronne supérieure injectée, dans des calcaires karstiques) ; remontée estimée de l'ordre de 0,50 m à 4 m selon les secteurs, dans le cas des lignes de métro, de la gare TGV et des aménagements du Centre International d'Affaires de Lille (avec une amplitude et une extension plus importantes en crue qu'en étiage de la nappe de la craie) ; également remontée amont de l'ordre de plusieurs mètres dans le cas du métro de Bruxelles (où l'on a réalisé des dispositifs de connexion hydraulique amont/aval par puits filtrants régulièrement disposés le long des parois étanches barrant la nappe alluviale).

Citons pour mémoire quelques autres types d'obstacles souterrains, dont l'influence n'est généralement pas aussi nette ni étendue que celle des coupures étanches continues évoquées ci-avant : pieux et barettes de fondation, parties enterrées des façades d'immeubles sur versants, consolidation sous remblai de couches argilo-sableuses (réduisant leur perméabilité).

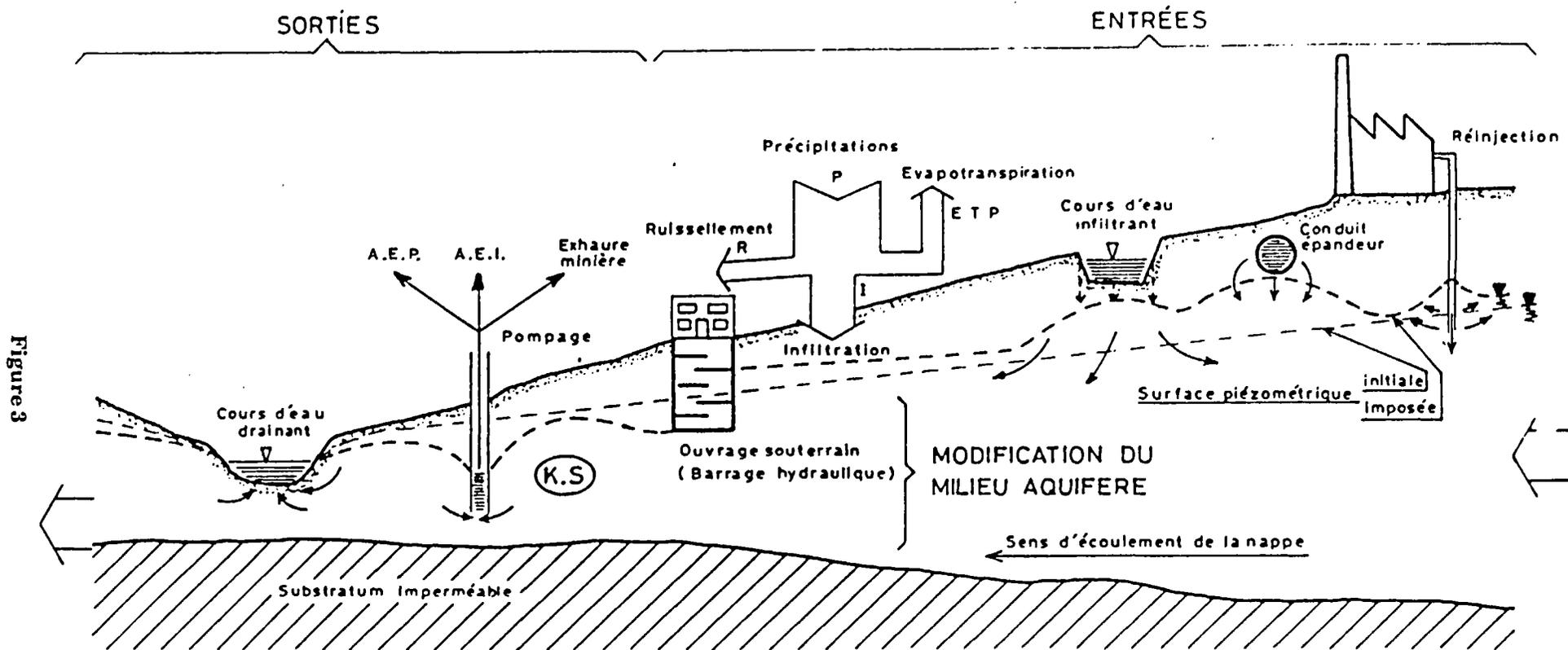
La suppression d'une couche imperméable entraînant l'alimentation de l'aquifère à partir d'une rivière ou d'une autre nappe constitue un deuxième facteur important de remontée du niveau des eaux souterraines (dans la catégorie modification de géométrie ou de structure) :

- le dragage du canal de la Deule à Aubry (Nord) pour augmenter son tirant d'eau de 0,70 m a localement supprimé le fond naturel argileux et mis en contact direct les eaux du canal et la nappe de la craie, d'où l'inondation de certaines rues jusqu'à réalisation de l'imperméabilisation des principales zones d'infiltration,
- l'exploitation intensive des sables et graviers (alluvions supérieures) dans le lit de la Loire en aval de Saumur a occasionné l'enlèvement d'une couche semi-perméable d'argile sableuse, et provoqué une alimentation directe de la nappe sous-jacente (alluvions inférieures), d'où une remontée du niveau de celle-ci ainsi qu'une augmentation des résurgences et des inondations hivernales en pied des digues de la Loire,
- la surexploitation de la nappe profonde du calcaire karstique carbonifère dans la région de Lille, Maubeuge, Tournai a entraîné un abaissement de plusieurs dizaines de mètres de son niveau (niveau initial "artésien", c'est-à-dire dépassant la surface du sol - niveau final inférieur au toit du calcaire). L'inversion du gradient hydraulique (infiltration des eaux de surface jusqu'au calcaire à travers les formations argilo-sableuses de recouvrement) a sans doute favorisé l'instabilité des voûtes argilo-sableuses des cavités et fissures karstiques profondes. Des fontis ont ainsi débouché vers le milieu des années 1970 dans le lit de l'Escaut, d'où une recharge imprévue de la nappe, mais aussi une pollution des forages les plus proches, avant que l'on ne réussisse à bloquer ces effondrements grâce à des agrégats adaptés.
- la réduction considérable des pompages industriels dans la nappe profonde du Lutétien-Yprésien au Nord de Paris a provoqué, outre une remontée du niveau de cette nappe, une élévation de la nappe phréatique supérieure, naturellement au travers des couches intermédiaires semi-perméables, mais artificiellement accentuée et accélérée du fait de nombreux forages profonds mal isolés ou corrodés.

Toujours dans la catégorie "modification de géométrie et de structure du sous-sol", le facteur le plus important de remontée est constitué dans certaines régions par les **affaissements de terrains**. Il s'agit là d'une remontée "relative", par simple changement de l'altitude du sol, mais ces affaissements peuvent modifier profondément l'écoulement des eaux superficielles et souterraines (convergence en direction de nouvelles dépressions, circulation plus rapide, alimentation accrue, ...):

- **les affaissements liés à l'exploitation minière** : ils atteignent jusqu'à 15 m d'amplitude dans le bassin houillier du Nord-Pas de Calais. La remontée "relative" de la nappe vient alors aggraver les effets de la remontée "nette", consécutive à l'arrêt des pompages d'exhaure des Houillères, d'où l'extension des zones où le niveau de la nappe avoisine la surface du sol, d'où également l'extension de plans d'eau (Les Glissoires à Avion, le lac de Montigny par ex.).
- **les affaissements liés à la consolidation de couches compressibles ("subsidence")** : dans certaines régions, notamment deltaïques, les phénomènes naturels de lente consolidation de tels sols (argileux ou organiques situés au-dessus ou bien intercalés dans des couches sablo-graveleuses perméables) sont souvent accentués et accélérés par l'exploitation des eaux souterraines (effet de chargement des couches du sous-sol, égal à la diminution de la pression de l'eau). C'est le cas bien connu des Pays-Bas, et de concentrations urbaines telles que Venise, Mexico, Bangkok, Shangaï. Dans certaines régions côtières, la surexploitation de la nappe d'eau douce entraîne non seulement des tassements, mais aussi une intrusion d'eau salée, par remontée "relative" du niveau marin et alimentation de l'aquifère déprimé à partir de la mer. Les politiques consécutives de réduction des pompages provoquent une remontée "nette" des eaux souterraines, mais le niveau topographique du sol ne retrouve jamais son altitude antérieure : à variation égale de niveau de nappe, l'effet de déchargement à la remontée est inférieur à celui du chargement à la baisse.
- **les affaissements liés à la dissolution de couches du sous-sol**
 - En Lorraine (vallée de la Sarre) ou dans le Jura (vallée de la Vallière), les affaissements par dissolution naturelle de **formations salifères** ont été compensés au cours des temps géologiques par une surépaisseur d'alluvions. Paradoxalement, l'exploitation des nappes alluviales au droit de ces zones de dissolution préférentielle risque d'induire une remontée "relative" du niveau piézométrique, par accélération du cycle dissolution-affaissement.
 - En région parisienne, ce sont les **horizons gypseux** du Lutétien aquifère qui peuvent être dissous (surtout en cas d'exploitation intensive des eaux souterraines) et entraîner des affaissements en surface lorsque les terrains de recouvrement sont insuffisamment résistants (sinon effet de dalle et risque d'effondrement brutal). Là où les terrains post-lutétiens ont été dégagés par l'érosion fluviale, il existe des échanges hydrauliques privilégiés entre la nappe alluviale et la nappe profonde du Lutétien et les phénomènes de dissolution se traduisent par la progression d'un véritable "front de lessivage".
- **rappelons pour mémoire le phénomène d'entraînement de fines** autour des captages mal crépinés ou des canalisations non étanches, pouvant entraîner des déformations du sol à leur périphérie.

Toutes ces influences dynamiques ou structurelles s'ajoutent à celles des réductions ou arrêts de prélèvements directs, si bien que la remontée d'une nappe ne peut pas être un simple retour, à l'identique, à l'état "naturel" existant avant l'accroissement des pompages - du fait de la révolution industrielle et du développement de l'urbanisation.



BILAN HYDRAULIQUE D'UN ENSEMBLE AQUIFERE

Figure 3

1.4 - QUELLES SONT LES CONSÉQUENCES DES REMONTÉES DE NAPPE SUR LES OUVRAGES ET L'ENVIRONNEMENT ?

Rappelons tout d'abord la multiplicité des aspects de l'élément "eau" :

- "énergie potentielle" : représenté par des paramètres tels que niveau, charge, pression, succion, gradient hydraulique, cet aspect se traduit par des phénomènes d'inondation, ou bien de poussée et de sous-pression, de retrait, de gonflement, ou encore d'érosion.
- "vecteur" : cf. le transport de matières dissoutes, de polluants.
- "milieu de propagation" : cf. la transmission des chocs et des vibrations, la diffusion de substances dissoutes, de la chaleur.
- "milieu d'échange ou de réaction" : l'eau peut dissoudre, corroder, colmater, aussi bien des terrains que les ouvrages baignés par la nappe.
- "barrière" : la surface de la nappe constitue un obstacle à la propagation de certaines substances (liquides plus légers non miscibles, gaz,...).
- "milieu de vie" : des microorganismes peuvent se développer dans les eaux souterraines, de même que tout ou partie des racines de certains végétaux.
- "changement d'état" : tout comme les eaux superficielles, les eaux souterraines peuvent geler ou s'évaporer.

Tous ces aspects sont potentiellement présents quelle que soit la situation, seuls les ordres de grandeur de l'intensité et de l'étendue des diverses actions résultantes et des dommages éventuels diffèrent selon le contexte particulier du site et du moment.

Nous proposons ci-après un classement des conséquences des remontées de nappe, en fonction des effets prédominants :

a - Les arrivées d'eau et les inondations (effet "hydraulique") constituent évidemment le phénomène le plus visible et le plus spectaculaire, qu'il s'agisse :

- de travaux à ciel ouvert ou en souterrain. La rencontre de la nappe à une cote ou avec une pression plus élevée que prévu lors de l'excavation ou du creusement, peut obliger à repenser entièrement le projet, retarde en tout cas l'exécution et augmente le coût (40 % dans le cas d'un collecteur à Saint-Etienne), voire provoque des accidents graves.
- de sous-sols de bâtiments. Les exemples sont universels, aussi bien dans les régions minières que dans les centres urbains petits ou grands : Moûtiers (Savoie), Wingles (Pas de Calais), Louches (Nord), rive droite de Lyon et Villeurbanne, Paris (rive droite surtout), Seine-Saint-Denis (cas récent du Centre de Télécommunications de Bobigny), Budapest, Vienne, Le Caire, Riyadh... Parmi les effets secondaires de ces inondations : l'insalubrité (atmosphère saturée, moisissures) et l'altération des matériaux, les pannes de diverses installations (ascenseurs, chaufferies).
- de tunnels, galeries ou canalisations souterraines. Les canalisations insuffisamment étanches reçoivent des débits parasites. Les débits d'exhaure des tunnels (RATP) augmentent (sauf travaux d'étanchéité-renforcement). De nombreux tunnels ferroviaires sont concernés à Liverpool. A Londres, c'est au moins 130 km de tunnels qui se trouvent situés dans des secteurs potentiellement inondables par la remontée des eaux souterraines.
- de canalisations à ciel ouvert et de cours d'eau. Leur débit augmente, par drainage naturel des eaux souterraines, et aussi du fait des pompages de mise hors d'eau des ouvrages et sous-sols menacés. C'est le cas notamment dans les zones minières, ou encore dans certaines villes de la péninsule arabique (remontée très rapide de la nappe par excès d'irrigation, ...).
- de vallons secs ou de dépressions topographiques. C'est surtout le cas des régions d'affaissements miniers, où des cours d'eau et des marécages réapparaissent, et où se créent de nouvelles zones humides (brouillard) voire de véritables lacs (La Canarderie à Saint-Aybert, Pas de Calais).

Ville de Paris rive droite - Parkings souterrains inondés

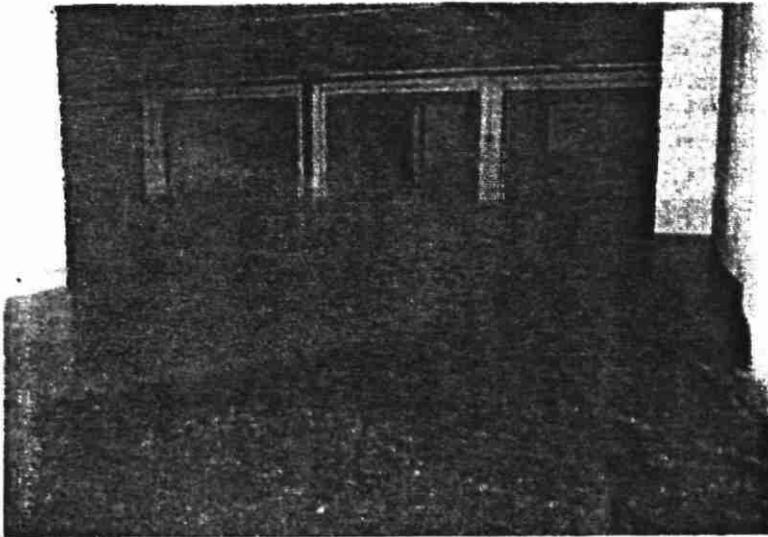


Figure 4a - A proximité du Boulevard Poissonnière

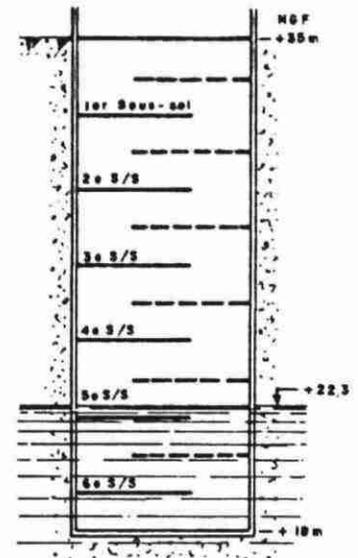


Figure 4b - Coupe du parking montrant les niveaux inondés

Figure 4c - Place de La Madeleine : Venues d'eau à la liaison radier - pilier de soutènement

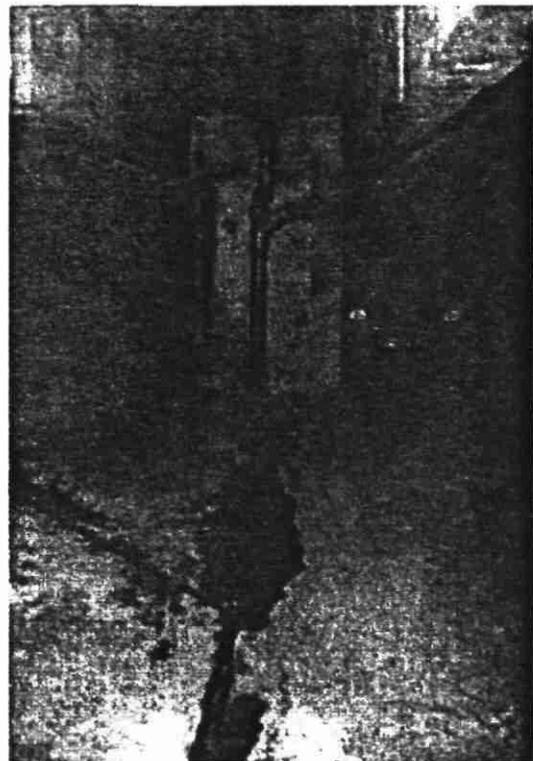


Figure 4

Ville de Paris rive droite

Exemples des conséquences des remontées de la nappe en sous-sol

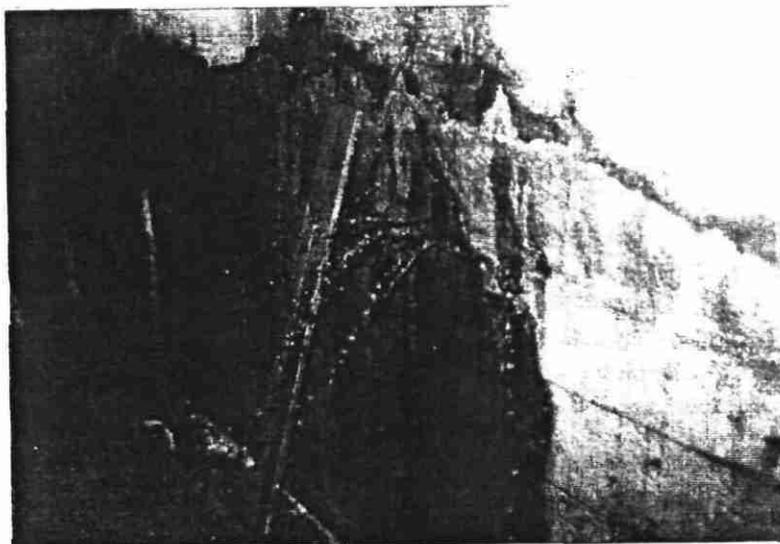


Figure 5a - Venues d'eau au-dessus de la salle de chauffage d'un immeuble



Figure 5b - Parking sous la place de La Madeleine

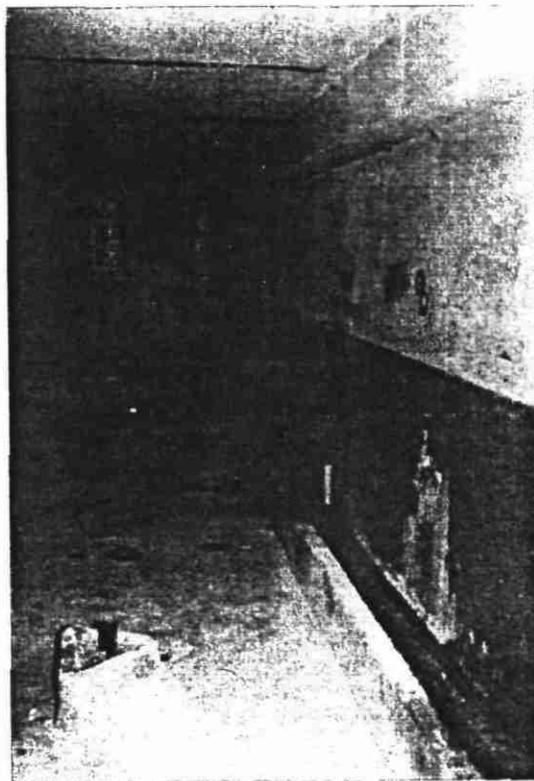


Figure 5c - Parking dans le haut de l'avenue de Neuilly : drains de décharge de la nappe et traces de ruissellement laissant apprécier l'ampleur du phénomène

Figure 5

b - Les déformations et ruptures (effet "mécanique") constituent une conséquence beaucoup plus sournoise des remontées de nappe, car généralement inattendues et brutales.

En ce qui concerne les ouvrages, citons :

- essentiellement les fissurations, les déformations ou les ruptures de parois enterrées, dallages, radiers, revêtements de galeries (conception et dimensionnement insuffisants pour résister à l'accroissement des poussées et sous-pressions ou encore aux variations de ces sollicitations entre l'amont et l'aval hydraulique).
- les déformations de fondations superficielles. Il y a certes réduction de portance (notamment par perte de cohésion capillaire), mais généralement sans risque de rupture des fondations, compte tenu des coefficients de sécurité utilisés dans les calculs de capacité portante. Par contre, notamment dans le cas de conception, dimensionnement ou réalisation défectueux, il existe des risques de tassement (absolu et différentiel), du fait de l'augmentation de déformabilité des terrains de fondation baignés par les eaux souterraines qui remontent.

Par ailleurs, dans le cas de certains sols gonflants, la remontée de la nappe peut entraîner des déformations très importantes, voire la ruine de l'ouvrage.

- les déformations (ou ruptures) de fondations profondes. Là aussi, en cas de remontée de nappe jusqu'à proximité de la surface du sol, compte-tenu des coefficients de sécurité habituellement utilisés pour la capacité portante de pieux, il ne peut y avoir de rupture par défaut de portance qu'en cas de faute grave de conception ou d'exécution, de surcharge importante ou encore de contexte très particulier.

Il peut y avoir des tassements supplémentaires, par réduction du frottement latéral, dans le cas de pieux flottants de grande longueur battus en terrain sableux. Il peut y avoir aussi rupture en traction de la partie inférieure de pieux flottants de grande longueur forés en terrain argileux, si le gonflement par décompression du sol, engendrée par la remontée de nappe, est suffisamment important (comme à Londres).

Il peut y avoir également des tassements supplémentaires, par effet de "frottement négatif", c'est-à-dire par surcharge des pieux à cause des tassements de certaines couches de sol superficielles sous l'effet de la remontée (voir ci-après).

Par ailleurs les ouvrages ou groupes d'ouvrages, fondés de diverses manières et à différentes profondeurs, sont susceptibles de subir des déformations différentielles, et donc des fissurations plus ou moins dommageables.

- la déformation, voire la rupture, de rideaux de palplanches et de murs de soutènement insuffisamment drainés.
- la dégradation de chaussées ou de voies ferrées, notamment en terrain à prédominance argileuse, par réduction de portance et augmentation de déformabilité des assises.
- le soulèvement de cuves vides ou de conduites, insuffisamment lestées ou ancrées, sous l'effet de la poussée d'Archimède.

A ces dommages affectant directement les constructions, peuvent se superposer des mouvements et déformations de tout ou partie des terrains concernés par la remontée des eaux souterraines :

- tassement des sols peu compacts ou "affaissables" (certains remblais de galeries minières ou remblais superficiels, certains sols sableux ou limoneux) : la saturation supprime la cohésion capillaire et réduit les frottements entre particules du sol, ce qui facilite leur réarrangement et les déformations. Ainsi, en Grande Bretagne, on a relevé des affaissements de surface de l'ordre de 1 m ou plus, par tassement de matériaux de remblaiement courant de mines ou de carrières à ciel ouvert, lors de la remontée de la nappe (souvent plusieurs dizaines d'années après le remblaiement). Dans le centre ancien d'Astrakhan (URSS), ce sont l'arrosage intensif d'un nouveau parc de 3 ha et les fuites de réseaux qui ont provoqué les affaissements des terrains limoneux, d'où de nombreux désordres (fissurations de la Cathédrale de la Trinité, inclinaison continue du clocher).

Ajoutons que le tassement par saturation de sols ou de remblais insuffisamment compacts ou "affaissables", affecte bien sûr les fondations superficielles mais aussi les fondations profondes qui les traversent, par effet de "frottement négatif" : les sols qui tassent s'accrochent aux pieux et les surchargent, ce qui peut entraîner des déformations excessives voire des ruptures des fondations.

D'autre part, il peut y avoir également tassement de remblais, compactés "trop sec", sans qu'ils soient baignés par la nappe, mais simplement par l'effet des remontées capillaires progressant vers le haut avec l'élévation du niveau des eaux souterraines.

- gonflement de certains sols argileux, par succion capillaire ainsi que par "décompression" (déjaugage correspondant à la remontée). Ainsi, les argiles du sous-sol de Londres ont tassé de près de 20 cm pour 70 m de rabattement à partir des années 1860, et le gonflement par remontée de nappe a été estimé de l'ordre de 10 cm (il ne sera acquis que très progressivement). Rappelons pour mémoire que les sols argileux superficiels, contractés par une sécheresse prolongée (phénomène de retrait), gonflent dès qu'ils peuvent se réhumidifier suffisamment, jusqu'à retrouver leur volume initial, voire même le dépasser dans certains cas.
- mouvement de terrains. On sait le rôle des eaux souterraines dans leur déclenchement, par augmentation des pressions interstitielles et diminution des caractéristiques mécaniques. L'urbanisation peut accroître les apports d'eau à la nappe et par conséquent les risques de mouvements de terrain : ainsi à La Paz (Bolivie), la suppression de nombreux eucalyptus consommateurs d'eau et les fuites du réseau d'eau potable ont fortement contribué aux instabilités chroniques qui affectent le quartier récent de Villa Armonia. A Ségovie (Espagne), les fuites des réseaux vétustes entraînent l'instabilité des falaises et des murs d'enceinte de la ville, vieille de 2 000 ans.
- rupture de piliers de carrières souterraines aujourd'hui partiellement ennoyées, par dégradation des caractéristiques mécaniques.
- liquéfaction de certains sols fins, sableux, désormais saturés, en cas de séismes (par augmentation de la pression d'eau interstitielle et rupture des contacts intergranulaires).

c - Les désordres à caractère "physico-chimique", par réaction entre les eaux souterraines et les terrains et ouvrages touchés par la remontée, peuvent être également très dangereux, en tout cas à l'origine de désordres graves et coûteux. Citons par exemple :

- l'attaque des matériaux constitutifs (métal, béton,...) des structures enterrées insuffisamment protégées (fondations, canalisations, tunnels), par des eaux souterraines chargées de substances corrosives : sulfates (bassins miniers du Nord-Pas-de-Calais, de Lorraine ; cas de Londres également), ou bien chlorures (notamment dans certaines régions côtières ou arides), ou encore autres substances naturellement présentes dans les eaux souterraines ou apportées par une pollution (cas du métro de Lille, avec une pollution par les fuites des réseaux d'assainissement). Cette attaque des bétons des ouvrages enterrés peut aussi se produire dans certains cas par le phénomène d'alcalis-réaction.

- l'attaque des **superstructures** (notamment des monuments anciens), du fait des remontées capillaires progressant vers la surface du sol et les ouvrages grâce à la remontée des eaux souterraines, remontées capillaires entraînant dans de nombreux cas des cristallisations de sels en été, ou du gel en hiver. Ainsi, le site archéologique de Gizeh (Egypte) est affecté de nombreux désordres depuis la construction du barrage d'Assouan et le développement de l'irrigation. C'est le cas aussi, après la réalisation du canal d'irrigation d'Arys (Turkestan), du Mémorial de Khodja-Ahmed-Yassari (12^e siècle), malgré l'installation d'un réseau de drainage préventif (pas assez profond !).
- le gonflement de certains remblais (et la rupture de dallages), par formation de sels expansifs (ettringite, thaumasite, ...) en présence d'eau.
- la dissolution ou la reprise de dissolution de couches salifères ou gypseuses auparavant dénoyées, d'où la réactivation ou l'accélération d'affaissements ou de fontis (cas de la région parisienne).
- l'altération de la qualité des eaux, par remise en charge de la nappe sous couverture imperméable : passage d'un milieu oxydant à un milieu réducteur, pouvant entraîner la mobilisation de certains minéraux (cas de la nappe de la craie dans le Nord).

d - Les désordres à caractère "bio-physico-chimique"

Parmi les conséquences les plus fréquentes citons :

- la corrosion des métaux et bétons (cf. aussi "c" ci-avant). Les bactéries anaérobies sulfato-réductrices présentes dans des eaux polluées ou séléniteuses (sursaturées en gypse) accélèrent les processus de dégradation des bétons ordinaires réalisés hors d'eau (cas à Neuilly), ou des colonnes de captage en acier ordinaire (cas en Alsace).
- l'émanation de biogaz, causée par la mise en eau de composés fermentescibles (en milieu réducteur) d'une ancienne décharge auparavant hors d'eau.
- la gêne à une saine exploitation de cimetières.
- la modification de la couverture végétale. Sauf travaux de drainage importants, la remontée des eaux souterraines à proximité de la surface du sol entraîne un changement dans l'équilibre air/eau du sol, donc une modification dans la vie des plantes (notamment les arbres à racines profondes). Les exploitations agricoles peuvent devenir non rentables. Ainsi, en RFA, dans les années 1960, l'alimentation en eau potable du "Grand Francfort" a nécessité le pompage des eaux souterraines dans la région de Nidda (Hesse), d'où un abaissement de leur niveau, permettant l'assèchement de secteurs initialement saturés et leur utilisation pour l'agriculture. Mais la surexploitation de la nappe a provoqué des tassements différentiels aux bâtiments de Nidda, et les prélèvements ont dû être réduits, entraînant une remontée des eaux souterraines (1974-1980) et l'abandon de ces exploitations agricoles.

e - Les dommages de type "pollution des eaux"

Outre les pollutions liées aux fuites de réseaux d'assainissement et de canalisations ou cuves d'hydrocarbures (fuites ayant contribué à la remontée de la nappe ou fuites provoquées par la corrosion accompagnant la remontée), citons :

- le lessivage des polluants (nitrates, sulfates, chlorures, organochlorés) piégés dans la zone auparavant non saturée (zones industrielles ou agricoles), ou dans une ancienne décharge auparavant hors nappe (cas de la vallée de l'Escrebieux près de Douai).
- la migration des polluants piégés, avant leur abandon, dans le cône de rabattement de pompes industriels importants.

- l'augmentation de la teneur en sels dissous, au moins dans une première phase (cf. "c" ci-avant). Il s'agit le plus souvent de sulfates, dans le cas de sous-sol gypseux, mais surtout dans le cas de bassins miniers (Nord-Pas-de-Calais, Lorraine) : il y a dissolution immédiate des sulfates formés lors de la montée de l'eau par oxydation des sulfures de fer (pyrites), finement divisés dans le minerai ou les terrains encaissants.
- la propagation de pollution, à cause de modifications des conditions hydrauliques d'échanges entre aquifères de qualité variable.

Ces divers modes de dégradation de la qualité des eaux souterraines peuvent entraîner à leur tour la pollution des cours d'eau alimentés par la nappe, des modifications dans la flore nourrie ou baignée à partir de ces eaux, ..., et bien sûr aussi l'abandon de captages (d'alimentation en eau potable), ce qui tend à accentuer et à étendre le phénomène de remontée (cas de quelques communes en Seine-Maritime).

f - Autres types de dommages (gênes d'exploitation, pertes de jouissance, dangers, ...)

- "court-circuits" dans les installations électriques des infrastructures enterrées : éclairage, chaufferie, ascenseur, etc. Désordres également dans les centraux téléphoniques inondés (cas du central de Bobigny, Val de Marne).
- "pollution thermique". Par exemple, la remontée de nappe au droit d'un réseau de conduites véhiculant à chaud des hydrocarbures lourds a entraîné leur refroidissement et leur colmatage. Autre cas de figure (Alsace), le rejet en nappe d'eaux (refroidies par le prélèvement de calories, ou réchauffées en provenance de circuits de refroidissement ou de climatisation) modifie l'équilibre physico-chimique eau-sol, ce qui peut dans certains cas entraîner des phénomènes de corrosion ou de colmatage (c.f. "c" ci-avant).
- "dysfonctionnement des systèmes d'assainissement". Les "eaux parasites" provenant du drainage de la nappe (réseau non étanche) ou de l'exhaure des chantiers et des ouvrages existants, entraînent un mauvais fonctionnement de l'ensemble du système d'assainissement : collecteurs, stations de pompage/relevage, stations d'épuration, déversoirs d'orage, ...
- "insalubrité" dans les zones basses d'émergence des eaux souterraines "remontées" : brouillards fréquents, prolifération de moustiques, etc. (cas des zones d'affaissements miniers : exemple des mines de potasse d'Alsace).
- "risques d'incendie ou d'explosion" à cause de substances polluantes inflammables, selon le schéma suivant : pollution par substances légères non miscibles (hydrocarbures surtout) - apparition d'une nappe de polluants flottant à la surface des eaux souterraines - remontée de cette nappe de polluants en même temps que le niveau des eaux souterraines - suintement et infiltration des polluants aux points bas des infrastructures, avec dégagement de vapeurs inflammables.

Les conséquences des remontées de nappe se traduisent en fin de compte le plus souvent par des surcoûts, liés aux :

- dépenses de fonctionnement et d'entretien des ouvrages concernés directement ou indirectement par ces remontées,
- abandons d'ouvrages et recherches d'autres solutions (construire ou aménager ailleurs et autrement),
- travaux de réduction des nuisances et de réparation (ouvrages existants), ou travaux de prévention (ouvrages à réaliser, secteurs à risques).

Dans tous les cas, afin de prévoir les effets des remontées d'eaux souterraines, ainsi que les zones et les ouvrages concernés, il apparaît important de pouvoir évaluer l'amplitude et la vitesse de ces remontées.

1.5 - EST-IL POSSIBLE DE PRÉVOIR JUSQU'OU LE NIVEAU DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE PEUT REMONTER ?

En aucun cas il n'apparaît sensé de procéder à une simple extrapolation des tendances pluri-annuelles constatées, car d'une part les évolutions futures demeurent influencées par les fluctuations naturelles interannuelles et les évènements exceptionnels (c.f. la sécheresse 1989-93), et d'autre part ces tendances ne sont que le résultat des décisions d'acteurs socio-économiques nombreux et variés et elles ne sauraient donc obéir à des règles spécifiques aisément accessibles. Arriver à prévoir l'évolution du niveau des eaux souterraines au delà du court terme signifierait que l'on serait capable de prévoir les décisions des acteurs socio-économiques, quant à la modification des prélèvements ou des rejets et à la perturbation du contexte hydrogéologique !!!

Ne pourrait-on pas cependant définir un "niveau futur maximal" ?

Il apparaît tentant de se baser sur un "état naturel ancien" (antérieur à la révolution industrielle et urbaine des 100 à 150 dernières années), qui pourrait théoriquement se reconstituer si tous les prélèvements "modernes" d'eau souterraine cessaient : c.f. la carte hydrogéologique du département de la Seine levée par M. DELESSE en 1857. Ce serait oublier que le contexte hydrogéologique a changé depuis cet "état naturel ancien" de référence, car les processus naturels sont eux-mêmes en état d'équilibre dynamique, mais surtout à cause des modifications et perturbations apportées par l'homme dans la structure du sous-sol et les conditions de circulation des eaux souterraines au droit des zones urbaines et industrielles.

Pratiquement, dès lors que l'on connaît bien les caractéristiques de l'aquifère et le contexte hydrogéologique naturel ou modifié (reconnaitances et essais in-situ, archivage des ouvrages et travaux "perturbateurs"), ainsi que les fluctuations saisonnières ou interannuelles (surveillance piézométrique, historique des pluies efficaces, enquête sur les épisodes exceptionnels), **il est possible à l'aide de modèles mathématiques correctement calés, de procéder à la simulation des conséquences sur le niveau piézométrique de divers scénarii de comportement des acteurs socio-économiques**, c'est-à-dire de répondre à des questions du type : quel sera le niveau des eaux souterraines, dans tel ou tel secteur, si les prélèvements sont réduits ou augmentés de tant pour cent, ou si tel ouvrage est construit ? - et finalement d'orienter les décisions de ces acteurs en connaissance de cause, ainsi que les arbitrages, concertations, ...

Bien évidemment, la marge d'erreur de ces prévisions dépend de la qualité et du degré de précision atteints par ces modèles (cf. répartition spatiale des observations, durée et fréquence des relevés, connaissance des ouvrages ou phénomènes "perturbateurs", etc.), ce qui suppose au minimum l'existence et l'organisation concertée d'activités telles que :

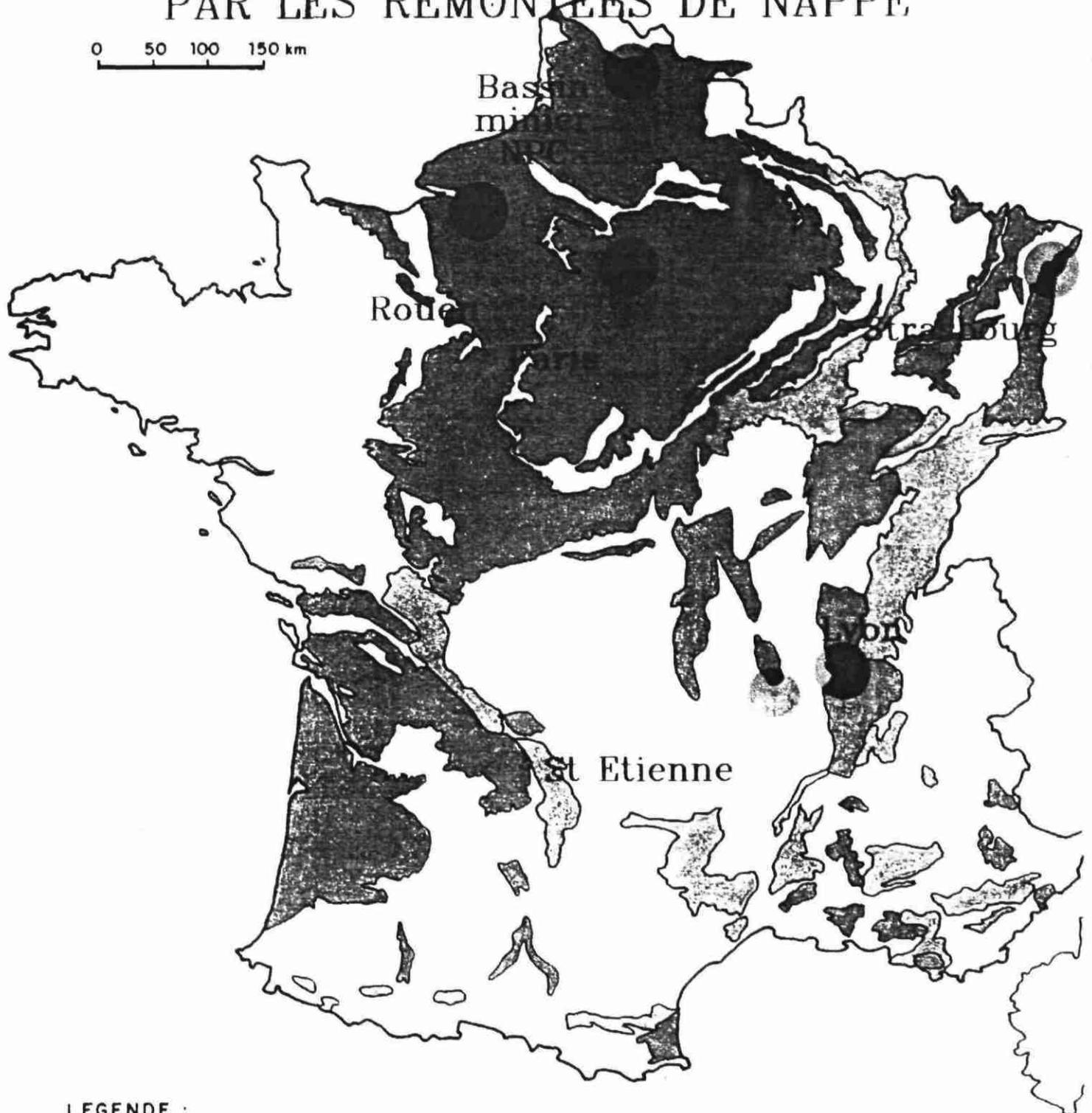
- archivage des données sur le sol et le sous-sol,
- surveillance des eaux souterraines (niveau, qualité, débits),
- archivage des ouvrages ou travaux modifiant ou susceptibles de modifier ultérieurement l'écoulement des eaux souterraines (cf. chapitre 3 ci-après).

Par ailleurs, il serait illusoire de prétendre imaginer tous les scénarii possibles ou connaître parfaitement le contexte hydrogéologique "anthropo-naturel", et seule la surveillance régulière des eaux souterraines peut permettre de revoir les hypothèses de base des modélisations et d'améliorer les simulations du niveau piézométrique pour une perturbation donnée.

En bref, s'il est impossible de prévoir l'évolution du niveau des eaux souterraines au delà du court terme, ni même de définir un niveau maximal, les moyens techniques existent pour calculer, avec une certaine marge, l'amplitude et l'extension des fluctuations piézométriques - remontée ou abaissement - dues à une modification donnée du contexte hydrogéologique, qu'elle soit naturelle ou anthropique, ce qui constitue, avec les réseaux de surveillance piézométrique, un élément important pour la gestion des eaux souterraines et de l'espace souterrain en zone urbaine.

PRINCIPAUX SITES CONCERNES PAR LES REMONTEES DE NAPPE

0 50 100 150 km



LEGENDE :

-  Grands aquifères
-  Aquifères karstiques
-  Domaine sans aquifère libre ou à aquifères locaux (aire < 100 km²)

Figure 6

2 - LA PERCEPTION ET LE TRAITEMENT CURATIF DU PHÉNOMÈNE DES REMONTÉES DE NAPPE

2.1 - COMMENT CE PHÉNOMÈNE DES REMONTÉES DE NAPPES EST-IL PERÇU PAR LES ACTEURS SOCIAUX ?

Au-delà de la compréhension que peuvent en avoir les spécialistes du sous-sol et de l'aménagement, le phénomène des remontées de nappe n'a acquis une existence sociale qu'à partir du moment, où, sur différents sites, il a engendré des préjudices et a donné lieu à des demandes de réparation.

En raison de la mauvaise qualité générale des eaux souterraines sous les agglomérations, notamment vis-à-vis des exigences de l'eau potable, il y a plusieurs décennies que l'eau des nappes phréatiques à l'aplomb des villes a perdu son image d'utilité. Par contre, la quasi-totalité des acteurs s'était satisfait ou se satisfaisait de l'abaissement des niveaux d'eau ou de leur maintien à un niveau plus profond, ce qui permettait l'extension d'installations et d'aménagements dans la troisième dimension, en souterrain. La remontée de ces nappes apparaît donc uniquement assortie de caractères péjoratifs :

- par la remise en cause d'avantages jugés acquis (les eaux souterraines ne se maintiennent pas "au niveau où elles étaient depuis longtemps et auraient dû rester"),
- par les charges nouvelles qu'elle engendre pour les aménageurs et occupants du sous-sol (surcoûts d'étanchéité et de protection vis-à-vis des différentes actions des eaux souterraines),
- par l'absence d'effets pouvant apparaître comme des "bénéfices" aux yeux de l'opinion générale.

Les enquêtes, menées par le groupe d'études auprès des différentes catégories d'acteurs dans les principales agglomérations concernées ont nettement mis en évidence deux grands types de constats :

a - Les citoyens, concernés volontairement ou involontairement par les remontées de nappe, sont très nombreux et variés.

Au-delà du truisme qui fait dire qu'en France il y a 55 millions de gestionnaires du cycle de l'eau, il convient de retenir deux grandes catégories d'acteurs :

- **les particuliers ou occupants du sol ou du sous-sol**, qu'ils soient utilisateurs d'eau souterraine ou utilisateurs d'espace souterrain à l'aplomb de leur parcelle de terrain. Pour eux, il y a identité entre le droit de propriété du sous-sol et le droit d'usage de l'eau qu'il renferme. Leurs projets et leurs aménagements sont conçus et réalisés en fonction de leurs besoins sans autres contraintes que celles relevant de la rentabilité technico-économique à court ou moyen terme. Ils n'ont ni les compétences géographiques, ni les moyens techniques d'appréhender et d'intégrer toutes les incidences, les interférences, les variations dans le temps et dans l'espace des actions variées entreprises par leurs concitoyens et coacteurs. Ils sont conduits à se placer pour leurs aménagements (pompages, parkings souterrains, etc.) dans un état de référence du niveau de la nappe, connu à une époque donnée. Leur manque de connaissance des principes de fonctionnement naturel du cycle de l'eau leur interdit d'ailleurs généralement d'appréhender l'éventualité de changements importants de situation dans le régime de ce domaine méconnu que sont les nappes d'eau souterraine.

- **les gestionnaires de l'espace et les planificateurs.** Ils sont sans doute mieux placés pour comprendre les phénomènes complexes techniques et socio-économiques et pour disposer de données objectives nombreuses et variées. Mais de nombreux exemples montrent que les choix politiques et techniques s'appuient beaucoup plus sur les aspects dits positifs des projets et des réalisations et qu'ils éludent de facto un certain nombre d'impacts pressentis ou même non évalués. **L'évolution du tissu urbain** au cours des années qu'elle soit liée au vieillissement du bâti, aux modifications de l'activité économique, au prix du foncier, aux grands travaux souterrains pour faciliter les transports ou le stationnement, comporte des incidences plus ou moins marquées sur l'usage des eaux souterraines et du sous-sol, ainsi que par conséquent sur le niveau (et la qualité) des eaux souterraines.

b - La complexité des problèmes d'Aménagement et de Génie urbain est telle que le phénomène de remontée des nappes "sous influence anthropique" n'en constitue qu'une faible composante.

La politique générale de la DATAR dans les années soixante visant à susciter des métropoles d'équilibre et à transférer des installations industrielles vers de nouveaux sites, la fin des exploitations minières de fer et de houille ont impliqué pour de nombreuses métropoles des bouleversements importants parmi lesquels l'incidence des remontées de nappe n'est qu'un épiphénomène. Cette complexité d'interaction des causes et des effets, à laquelle il faut ajouter une grande méconnaissance générale du comportement des eaux souterraines a conduit à un oubli du fonctionnement naturel du cycle de l'eau. **L'enchevêtrement des causes et des conséquences, naturelles ou anthropiques, est tel que le phénomène des remontées de nappes d'eau souterraine sous les centres urbains et industriels apparaît constituer dans cette perspective, non pas toute l'actualisation d'un risque bien cerné, mais plutôt un dysfonctionnement aléatoire, inhérent à l'évolution et à la complexité croissante du système urbain.**

Dans un tel contexte, chacun des acteurs confrontés aux remontées de nappe a tendance à se replier sur des positions immédiates, instinctives. Le particulier essaiera de résoudre plus ou moins ses problèmes en se retournant contre les entreprises qui ont réalisé les travaux. Les entreprises et les bureaux d'étude, qui peuvent être impliqués dans le cadre de la garantie décennale, tenteront de se dédouaner en faisant état des données disponibles dans le voisinage au moment des travaux. Les juges et les experts judiciaires s'appuieront sur l'imprécision de la notion juridique de nappe souterraine et sur l'insuffisante détermination des critères de jugement pour déclarer des responsabilités souvent mal démontrées scientifiquement (coût et limites des modélisations hydrogéologiques, insuffisance des données spatiales et temporelles sur le sous-sol et les eaux souterraines).

Les grands aménageurs se contenteront de mettre en place quelques ouvrages ou dispositifs correcteurs, permettant de réduire l'impact de leurs installations. Les collectivités locales craindront d'établir dans les documents d'urbanisme des dispositions ou des informations trop précises concernant ce niveau des eaux souterraines qui pourraient les impliquer en cas d'incident.

Ce panorama peut paraître pessimiste et partial ; il montre à l'évidence que, en raison de la multiplicité des acteurs de tous niveaux et compétences, **il est nécessaire que l'information circule** pour que chacun puisse mieux appréhender les impacts de ses actions. En fonction du temps qui s'est écoulé depuis les premières manifestations vers 1976 de ce phénomène de remontée des nappes sous diverses agglomérations, des dispositions commencent à être prises, appliquées aux secteurs géographiques concernés. **La notion de gestion patrimoniale du milieu fait timidement son entrée en scène. Son objectif est présenté comme une manière non seulement d'élaborer des parades face à des dommages bien cernés dont les enjeux peuvent être appréciés et mesurés, mais aussi de sauvegarder le plus possible des capacités de réaction vis-à-vis de situations futures imprévisibles.**

Ces nouvelles démarches intègrent mieux que par le passé, les **constats d'états de référence successifs** en puisant dans la mémoire collective les éléments pour les requalifier. Rien de ce qui est naturel n'est fortuit ; en partant de ce principe, il devient possible de recomposer les systèmes - étalons passés et d'en tirer des orientations et projections pour différents scénarios. Ces types d'approche commencent à être élaborés dans certaines zones impliquées par les remontées de nappe, notamment les régions minières ou certaines grandes métropoles.

2.2 - QUELS SONT LES RECOURS POSSIBLES ? QUELS SONT LES CRITÈRES DE DÉCISION DES TRIBUNAUX ?

L'inventaire des différents cas théoriques envisageables en matière de responsabilité tant administrative que civile s'est trouvé largement restreint par le nombre de décisions jurisprudentielles existant effectivement :

- compte tenu de l'apparition relativement récente de ces litiges et des durées de résolution par les services judiciaires, il existe très peu de décisions du Conseil d'Etat et de la Cour de Cassation, dont les jurisprudences ont une valeur supérieure à celles des autres juridictions ;
- la quasi totalité des décisions de justice recueillies concerne la mise en jeu de la garantie décennale des constructeurs.

Ceci ne constitue que la traduction d'une tendance générale du comportement des requérants face à la justice, qui préfèrent introduire leur recours devant les juridictions civiles plutôt qu'administratives (garanties plus efficaces de paiement des coûts de réparation ; traitement moins inégalitaire vis-à-vis des prérogatives, liées à l'intérêt général, de l'administration). Les recours devant le juge administratif apparaissent ainsi comme des "voies de secours" en cas d'échec devant les tribunaux judiciaires.

De l'analyse de la jurisprudence relative à la garantie décennale, il se dégage des principes constants :

- le maître d'ouvrage doit faire réaliser des études de sol, et ne pas passer outre les recommandations et restrictions des maîtres d'oeuvre, bureaux d'études spécialisés, bureaux de contrôle ou entrepreneurs (surtout si ce maître d'ouvrage est lui-même "notoirement compétent") ;
- le maître d'oeuvre (et plus précisément le géotechnicien) doit effectuer une **étude de sol suffisamment poussée**, de façon à ce que la construction reste conforme à sa destination (notamment solidité, sécurité, salubrité, mise hors d'eau). En particulier, il doit *se renseigner auprès des organismes compétents sur les possibilités de fluctuation du niveau des eaux souterraines sur une période suffisamment longue, et bien entendu en tenir compte pour la conception et le dimensionnement du projet* ;
- sous peine d'être condamnés à supporter une partie des dommages, le maître d'oeuvre, le bureau d'étude spécialisé, l'entrepreneur ou le bureau de contrôle ne doivent pas manquer à leur **devoir de conseil** tout au long de leur participation au projet : ils doivent avertir le maître d'ouvrage des risques que peuvent présenter les solutions techniques retenues, et exprimer des réserves, voire refuser explicitement de cautionner ces solutions et de participer à la poursuite du projet !

Ces exigences apparaissent particulièrement rigoureuses, mais sont de nature à éviter bien des difficultés ultérieures.

Seule une "cause étrangère" pourrait exonérer totalement ou partiellement les constructeurs de leur responsabilité vis-à-vis du maître d'ouvrage : il doit s'agir d'un événement de force majeure - présentant donc un caractère à la fois extérieur, imprévisible et irrésistible -, ce qui est rarement admis par le juge, tant administratif que civil. *La remontée de la nappe phréatique ou tout autre phénomène perturbant la circulation des eaux souterraines ne saurait constituer des causes étrangères exonérant un maître d'oeuvre de sa responsabilité envers le maître d'ouvrage que si celui-ci s'est adressé aux organismes compétents (sur les possibilités de fluctuations de la nappe sur une période suffisamment longue) et que les renseignements recueillis ne lui permettaient pas de prévoir les modifications ultérieures de l'état du sous-sol.*

Si le sinistre lié à la remontée de la nappe survient au-delà des 10 années de garantie en responsabilité civile contractuelle, c'est la "responsabilité quasi-délictuelle" du maître d'oeuvre pour "faute lourde" qui pourrait éventuellement être engagée, sous réserve que le Conseil d'Etat ou la Cour de Cassation définissent les critères selon lesquels, compte tenu des règles de l'Art et des errements des professions concernées il y a plus de 15 ou 20 ans, certaines insuffisances d'une étude de sol ou d'une conception de projet quant à la prise en compte des fluctuations de nappe et des phénomènes susceptibles de perturber l'écoulement des eaux souterraines, pourraient être considérées comme constituant une "faute lourde" dans le contexte de la période de construction de l'ouvrage sinistré (cf. le cas ci-dessus de la cause étrangère).

Il faut reconnaître que malgré quelques avertissements (remontées de nappes observées à l'occasion de certaines périodes des 2 guerres mondiales ou pendant les grèves de 1936), il y a eu de la part des constructeurs conjonction d'une "amnésie collective" quant au niveau naturel des eaux souterraines avant la révolution industrielle et urbaine, et "méconnaissance" des phénomènes hydrogéologiques susceptibles d'affecter ce niveau, si bien que s'est créée et maintenue "l'illusion d'un niveau piézométrique naturellement profond", et que de nombreux constructeurs, tant publics que privés, ont longtemps bénéficié de cet "avantage", sans en avoir pleinement conscience ni se rendre compte de son caractère artificiel et provisoire.

D'autres types de responsabilités peuvent être avancés et mettre en cause d'autres "intervenants" que les constructeurs, mais très peu de décisions jurisprudentielles récentes ont pu être exploitées en ce sens :

- **au titre du Code de l'Urbanisme.** En fait, les autorités chargées de l'urbanisme agissent en sorte que leur responsabilité ne soit pas engagée si peu que ce soit. Lors de l'élaboration des documents d'urbanisme (SDAU, POS), elles refusent d'appliquer aux remontées de nappes le qualificatif de "risque" (au titre de l'article R 111.3 du Code de l'Urbanisme, comme pour les phénomènes tels que inondations, mouvements de terrains, cyclones, séismes) : elles considèrent qu'il s'agit d'une "contrainte du sous-sol" dont la charge repose exclusivement sur le constructeur, et elles ne proposent le cas échéant qu'à titre **purement informatif**, l'indication de la profondeur des eaux souterraines et la délimitation des zones potentiellement critiques vis-à-vis des remontées de nappe.

Il apparaît cependant quasi certain que l'autorité qui délivrerait un permis de construire assorti d'aucune condition, tout en connaissant le risque de remontée, verrait sa responsabilité engagée, puisqu'il y aurait erreur manifeste d'appréciation de sa part. Mais cette responsabilité ne pourrait pas être totale dans la mesure où il apparaîtrait également une négligence du constructeur (recherche d'informations ou études insuffisantes).

- **au titre des "troubles anormaux de voisinage"**, en l'absence même de toute faute ou d'intention de nuire (s'inscrivant pour les personnes publiques dans le cadre plus général de la responsabilité pour "dommage de travaux publics"). Plusieurs conditions doivent être remplies : lien direct de causalité entre le fait générateur et le dommage (d'où la nécessité d'une expertise hydrogéologique approfondie pour identifier et pondérer les différentes causes naturelles et artificielles de remontée), et caractère anormal du dommage (en plus caractère spécial et permanent pour la juridiction administrative). Ce caractère d'anormalité est laissé à l'appréciation souveraine du juge.
- Dans le cas de dommages par remontées résultant de l'exécution de travaux (publics ou privés), la théorie des troubles de voisinage apparaît applicable, tant devant les juridictions civiles qu'administratives : dans la mesure où il est démontré que ces travaux ont entraîné une modification de l'équilibre hydrogéologique, ils ouvrent droit à réparation car les dommages dépassent les inconvénients "normaux" de voisinage. Ainsi par exemple, EDF a vu à plusieurs reprises sa responsabilité engagée du fait des désordres causés aux bâtiments et aux cultures par le relèvement du niveau piézométrique consécutif à la création d'une retenue.

- Par contre, dans le cas de dommages par remontées résultant de l'arrêt de prélèvements (publics ou privés), la théorie des troubles de voisinage n'apparaît guère applicable : un arrêt de prélèvement ne constitue qu'un retour aux "conditions initiales", et le dommage subi ne peut guère être considéré comme anormal au regard des conditions de voisinage. En effet, d'une part l'ouvrage de prélèvement n'avait pas pour objectif premier d'abaisser artificiellement la nappe, mais d'alimenter en eau des habitations ou des installations industrielles ou agricoles ; d'autre part la victime a bénéficié directement, souvent pendant de très nombreuses années, de l'avantage constitué par un niveau piézométrique artificiellement approfondi, sans qu'elle n'ait jamais engagé aucune dépense d'étanchéité ni de pompage. La perte de cet "avantage de voisinage" ne saurait entraîner de droit à réparation.
- **au titre du Code Minier.** Dans le cas des procédures relatives à l'abandon d'exploitation de mines, il existe des possibilités d'intervention de la puissance publique auprès des exploitants miniers, afin d'indemniser les sinistrés ou prendre en charge les frais de mise hors d'eau, et ce d'autant plus que les affaissements miniers auront accentué le phénomène de remontée de nappes (cf. § 2.3 ci-après).

Afin d'éviter les dommages et troubles de jouissance liés aux remontées de nappe, il faudra se tourner à la fois :

- vers une meilleure prévention : exiger des études de sol plus détaillées (et mieux rémunérées) en ce qui concerne les aspects hydrogéologiques, et une conception prenant en compte les possibilités de dépassement des "niveaux piézométriques de projet" ; diffuser largement l'information sur le niveau des eaux souterraines et sur les contraintes hydrogéologiques, notamment par les documents d'urbanisme et les médias régionaux ou locaux (en cas de situation ou d'évolution critique) ;
- vers une meilleure prévision : surveiller l'évolution du niveau des eaux souterraines et celle des prélèvements et des rejets, ainsi que les modifications du contexte hydrogéologique ; modéliser les aquifères les plus concernés et réaliser une cartographie dynamique des zones à risques de remontées, afin d'améliorer les projets ou d'alerter les habitants concernés ;
- vers une amélioration du droit relatif aux eaux souterraines et à l'environnement, de façon à préciser les responsabilités des industriels, des constructeurs et aménageurs, ainsi que des autorités chargées de la gestion des eaux souterraines et du sous-sol.

2.3 - QUELQUES CAS D'ÉVOLUTIONS DE SITUATIONS CRITIQUES OU CONFLICTUELLES EN FRANCE ET À L'ÉTRANGER

A l'occasion du programme d'étude sur les remontées de nappe, l'ensemble des intervenants, aidés par le groupe de travail interdisciplinaire, ont appuyé leurs réflexions sur des exemples précis régionaux ou locaux. Chaque cas étudié montre la difficulté d'approche et de résolution de situations souvent difficiles. Certains de ces exemples sont présentés ici et classés selon leur plus ou moins grande complexité.

- Cas n°1. Nappe de Moutiers (Savoie)

A Moutiers, existait une usine d'aciers spéciaux, Ugine Acier, qui, pour ses besoins de production, pompait l'eau de la nappe alluviale de l'Isère. Bien que situés à une extrémité de la ville, ces pompages engendraient un abaissement important de la nappe, ce qui avait permis à certains aménageurs (mairie, gendarmerie, immeubles collectifs) de créer des parkings souterrains. Les restructurations successives du secteur de la métallurgie dans les années 70 ont fait que cette usine a changé plusieurs fois de raison sociale, de groupe, avant que PUK ne prenne la décision de l'arrêter. Durant plusieurs années et tant qu'une équipe de surveillance se trouvait sur le site, les responsables de la société ont continué, en accord avec la municipalité de Moutiers, à pomper les eaux de la nappe alluviale pour maintenir le rabattement du niveau d'eau. Le transfert de charge financière vers la ville s'est effectué ensuite mais celle-ci étudie de nouvelles solutions techniques pour résoudre le problème du maintien du bas niveau de la nappe alluviale sous la ville et préserver ainsi l'usage des installations communales et privées en sous-sol.

Cet exemple illustre la relation directe entre un industriel et la collectivité locale : après examen de l'avantage de conserver la pérennité du rabattement de la nappe alluviale, la municipalité a pris à sa charge le coût financier de ces pompages à la disparition de l'industriel.

- Cas n°2. Nappe alluviale de la rive gauche du Rhône dans l'agglomération lyonnaise (cf. figure 7)

La plaine de la rive gauche du Rhône à Lyon était une zone inondable jusqu'à la création au siècle dernier de digues canalisant le fleuve. Le nom des Brotteaux vient de la végétation arbustive qui poussait dans ces secteurs fréquemment recouverts par les crues (aulnes, vernes, etc.). Le niveau de la nappe alluviale qui accompagne celui du cours d'eau est proche du niveau du sol. La plus grande part des terrains sont la propriété des Hospices civils de Lyon qui en cèdent l'utilisation à des constructeurs par bail amphytéotique. Un captage d'eau potable important, celui de Grand Camp est implanté en bordure du Rhône ; fonctionnant depuis 1899, il engendre un rabattement de nappe conséquent sur une bonne partie de cette plaine, cependant la plupart des constructions n'ont pas de cave.

Pour des raisons de qualité de l'eau, la Communauté urbaine de Lyon sur incitation du Conseil départemental d'hygiène, décide de remplacer ce captage de Grand Camp par un autre situé plus à l'amont de l'agglomération. Dès 1966, elle diffuse une information à ce sujet. La Société d'équipement de la région lyonnaise fait exécuter en 1970, une étude des effets probables de l'arrêt de ces pompages et en tient compte dans la programmation de l'aménagement du quartier du Tonkin à Villeurbanne : le parking des véhicules n'est conçu que sur un seul niveau de sous-sol et au rez-de-chaussée, alors que la circulation piétonnière est reportée au 1er étage. L'arrêt effectif des pompages de Grand Camp en 1976 se manifeste par la remontée de nappe prévue. Différents constructeurs qui n'avaient pas tenu ou pas voulu tenir compte des informations diffusées précédemment assignèrent la Communauté urbaine de Lyon. Cette dernière, pour montrer sa bonne foi, finance la pose et le suivi de 30 piézomètres pendant toute la durée de la procédure.

Depuis, ce réseau de mesures a été complété par d'autres points et financé par d'autres organismes, aménageurs et administrations. Couplé à un modèle de simulation des écoulements souterrains, il permet de prévoir les effets de modifications locales envisagées.

Cet exemple est particulièrement significatif : la Communauté urbaine de Lyon a réalisé des études techniques et une large campagne d'information préalables au déplacement du champ captant, ce qui lui a permis de repousser toute implication juridique dans des dommages aux tiers. Cependant, elle n'a pas voulu prendre part par la suite à aucune forme de gestion concertée de la nappe alluviale.

- Cas n°3. Saint-Etienne et les Houillères

Dès le 16^e siècle, le charbon fut extrait à Saint-Etienne d'abord près de la surface puis à partir de la deuxième moitié du 18^e siècle par puits et mines souterraines. Les Houillères furent obligées d'assécher les galeries ce qui entraîna un important rabattement des eaux souterraines créant des préjudices au sol qu'elles consentirent à compenser (et ceci bien avant l'apparition d'affaissements miniers). Cette tradition de la compensation de la part des Houillères alliée à une bonne connaissance des phénomènes du sous-sol des responsables de l'agglomération, dont une partie provenaient de ce secteur minier, a toujours contribué à faciliter la résolution des problèmes liés à l'exploitation profonde du charbon.

Il risquait de ne pas en être de même lors de l'arrêt progressif mais inéluctable des exploitations qui, outre les récessions économiques qu'il entraîne, induit la remontée des nappes d'eau souterraine. La ville, impliquée tant pour le bon fonctionnement de ses installations (stade, foire, etc.) que pour l'assainissement général de son territoire, avait de nombreux motifs de voir régler ces problèmes. Les Houillères, par contre, en cessation d'activité progressive ne voulaient pas s'engager. La médiation énergique de la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement s'appuyant sur la nouvelle réglementation (1980) relative à l'abandon des mines et carrières, a permis de recréer un consensus psychologique et technique. Des études approfondies sur les différents aspects de la remontée de la nappe furent réalisées et déterminèrent les conséquences probables du phénomène. Le suivi de l'ensemble de ces études ainsi que l'information du public furent assurés par les deux partenaires.

Cependant cette association Houillères - Municipalité pendant la phase d'études de la remontée de la nappe ne permet pas de préjuger de leur volonté respective de collaborer au traitement des problèmes ainsi identifiés malgré l'absence de dissension sur les caractères des phénomènes.

Cet exemple montre l'impact que peut avoir un médiateur énergique dans la relance de relations entre partenaires, au moment où les intérêts de chacun d'entre eux évoluent.

- Cas n°4. Bassin minier du Nord - Pas-de-Calais

A l'opposé du cas de Saint-Etienne où la question de la remontée de nappe a été traitée par un comité particulier, dans le bassin houiller du Nord - Pas-de-Calais, ce phénomène est intégré dans un système physique et social complexe qui en dissout la spécificité. Les inondations qui touchent les habitations et les équipements d'un grand nombre de communes sont perçues comme une conséquence, parmi d'autres, de la désindustrialisation. La mise en oeuvre des solutions est alors subordonnée aux résultats des négociations en cours sur la reconversion économique et la réhabilitation de la région.

On assiste alors à des marchandages locaux qui conduisent, en l'absence de véritables études techniques, à des solutions qui à terme ne satisferont personne. Ainsi, la commune de Wingles se retrouve-t-elle seule avec la charge de l'entretien du rabattement des eaux par pompage dans un point bas, alors qu'une solidarité intercommunale aurait permis de trouver des pratiques plus efficaces, mieux réparties techniquement. Ainsi la commune de Louches, dont le dossier ne présente pas les caractéristiques d'un "dossier minier" puisque les remontées de nappes qui l'affectent sont liées à l'arrêt des pompages d'utilisateurs de charbon qui ont cessé leurs activités, la centrale thermique d'EDF et l'usine d'USINOR, ne peut-elle donc pas s'appuyer sur la collaboration des Houillères pour résoudre le problème des inondations qui perturbent gravement la vie quotidienne de certains de ses habitants. Après avoir tenté de prendre en charge le dénoyage des caves, elle se tourne vers l'Administration pour l'aider à mettre en place une concertation intercommunale, basée sur une étude montrant que l'implantation de points de pompage bien répartis aurait de meilleurs effets. En 1987, fut créé un Syndicat intercommunal de fonctionnement et d'investissement de dessèchement de la vallée de la Naville, destiné à prendre en charge non seulement les questions hydrauliques mais également le curage de ce cours d'eau.

Cet exemple illustre la **complexité d'appréhension et de résolution de phénomènes imbriqués à multiples intervenants**. Si la démarche adoptée est trop vaste et intègre trop de composants socio-économiques elle risque d'être inefficace et de susciter, en raison des urgences diverses, des solutions partielles, non optimisées techniquement et financièrement. Il conviendrait de préférer des démarches à objectif technique bien ciblé, aptes à motiver, sur des résultats constatables, les nombreux partenaires concernés.

- Cas n°5. Les remontées de nappe sous Paris (cf. figures 8 et 9)

Les prélèvements d'eau sous Paris et notamment sous la Plaine de Saint-Denis, depuis le début du siècle, ont engendré des abaissements de nappe importants. Un ensemble de grands travaux souterrains (RER, gares souterraines SNCF, etc.) ont fait l'objet d'épuisements de nappes. Au début des années 70, ces grands chantiers ont largement diminué, de plus de nombreuses activités industrielles ont été transférées vers d'autres sites. A l'aplomb des grands boulevards, des remontées de nappe atteignant 12 à 16 m se sont manifestées à partir de 1976. Des occupants du sous-sol qui avaient aménagé jusqu'à 7 étages de parkings souterrains ont vu les eaux monter et ont été parfois conduits, en raison des difficultés et du coût des travaux de reprise en sous-oeuvre, à laisser noyés 2 voire 3 niveaux de parkings. Un certain nombre de procès opposant maîtres d'ouvrage et entreprises ou bureaux d'étude et de contrôle se sont déroulés ou se poursuivent dans le cadre de la garantie décennale.

Les services chargés de l'information sur le sous-sol (Inspection générale des carrières, BRGM) ont fait l'objet d'accusations leur reprochant de ne pas avoir suffisamment mis en garde les aménageurs.

Mais, jusqu'à présent, toutes les difficultés liées à la remontée des nappes ont été "réglées" au coup par coup, ponctuellement, par marchandage judiciaire ou règlement amiable, sans que les interlocuteurs sachent quel serait le véritable état de référence ; chacun étant intimement persuadé que celui-ci n'est plus celui décrit par la carte de la surface piézométrique de la nappe de 1857 - DELESSE antérieure à tout le développement des prélèvements. En dehors de la tenue d'un réseau de mesures de quelques dizaines de points d'eau, la Ville de Paris n'a jamais voulu s'impliquer dans l'élaboration d'une solution globale à l'échelle de cette nappe permettant d'échafauder des scénarios de maintien artificiel de la surface de la nappe à une cote acceptée par tous.

- Cas n°6. L'approche londonienne

Le groupe d'étude a cherché à connaître ce qui se faisait à l'Etranger puisque les mêmes causes ayant les mêmes effets, plusieurs métropoles européennes sont soumises au problème des remontées de nappe (Londres, Birmingham, Liège, Hanovre, Helsinki, Milan, etc.).

L'approche technique la plus intéressante et la plus avancée est celle de l'agglomération de Londres. L'étude réalisée sur ce site, vaste synclinal constitué d'argile surconsolidée reposant sur des sables et la craie, montre que la nappe qui était captive, est presque partout devenue libre entraînant au fil du temps des tassements des argiles. Depuis 1970, le niveau de la nappe aquifère remonte régulièrement du fait de la diminution des prélèvements (1,5 m/an environ). Des désordres liés à un regonflement des argiles pourraient affecter des immeubles et des tunnels créant des déformations différentielles selon les types de fondation, allant même jusqu'à la destruction de certains d'entre eux. En fonction des résultats de la surveillance de la remontée de la nappe, des mesures s'avèrent indispensables pour maîtriser celle-ci, soit à l'échelle locale, par les maîtres d'ouvrage individuels concernés à qui des cahiers des charges seraient imposés, soit à l'échelle régionale par les services légalement chargés de la police des eaux souterraines. Les estimations de coût pour les différents schémas évoluent de 6 à 27 millions de livres pour l'investissement et d'environ 1 à 4 millions de livres par an pour le fonctionnement.

Ce dossier, largement présenté au public, est en discussion entre l'Administration et les organismes concernés pour établir les conditions de sa mise en oeuvre. Il présente l'intérêt d'une démarche pragmatique, mais bien structurée et il sera utile d'en suivre le déroulement pour en tirer des enseignements profitables.

Croquis schématique de la région parisienne :
Abaissement de la nappe des sables
yprésiens depuis un siècle.
(d'après P. DIFFRE, 1969)

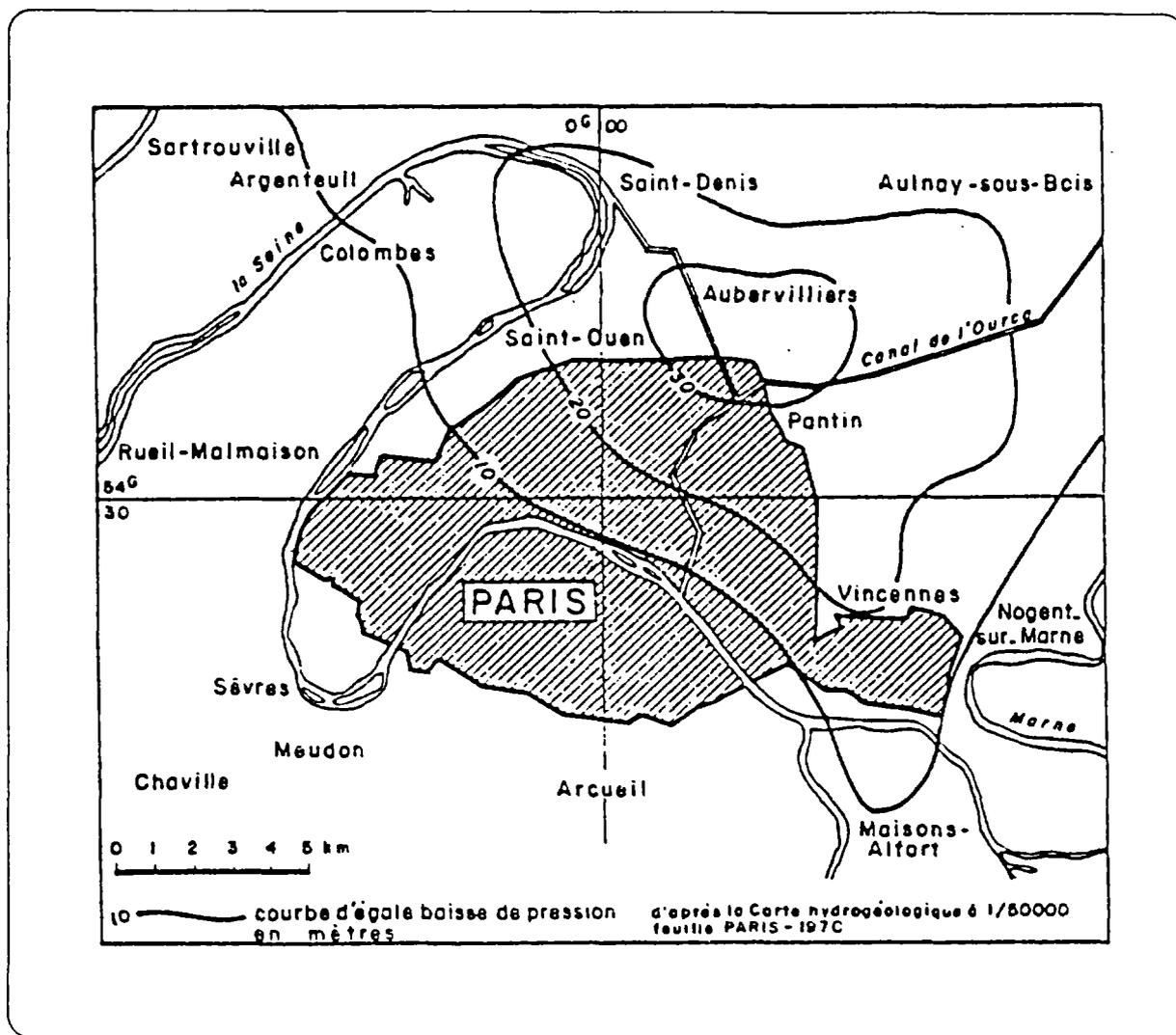


Figure 8

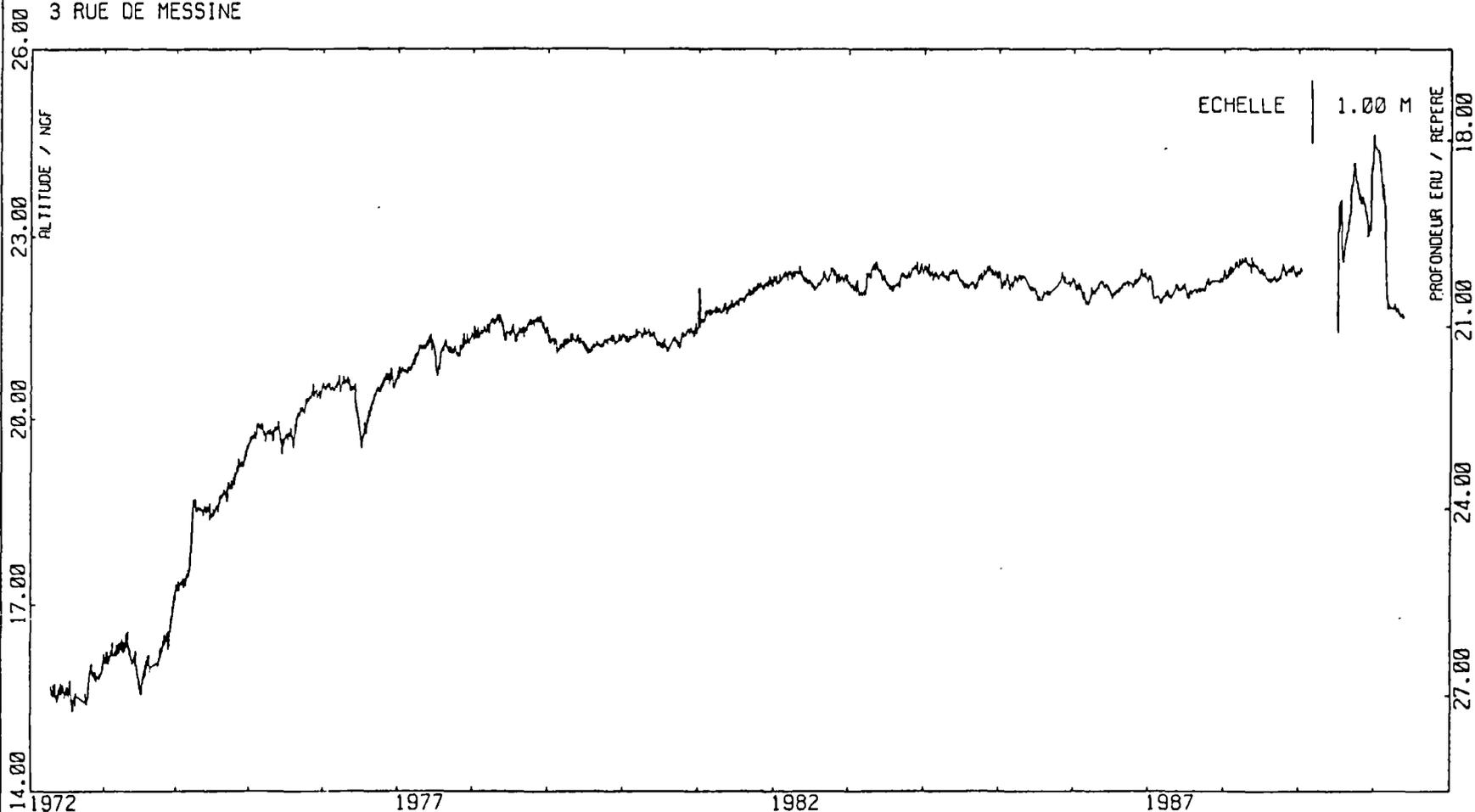
PIEZOMETRIE 1972 - 1990



INDICE B.R.G.M. 0183-20-0136

DESIGNATION F

075 PARIS
3 RUE DE MESSINE



NAPPE SOS/07.08.../+-C NAPPE DU LUTETIEN ET DE L'YPRESIEN
 RESEAU PROFONDEUR OUVRAGE 80.00 M.
 COTE DU REPERE PIEZOMETRIQUE 42.55 M.
 COTE DU SOL 47.00 M.

Figure 9

2.4 - QUELLES SONT LES SOLUTIONS TECHNIQUES CURATIVES ENVISAGEABLES ? COMBIEN COÛTENT LES DOMMAGES INDUITS PAR LES REMONTÉES DE NAPPES ?

En raison de leur application tardive, les différentes solutions envisageables s'avèrent le plus souvent difficiles à mettre en oeuvre et de toute façon onéreuses. Ce caractère tardif, s'il peut se justifier dans certains cas de remontées particulièrement "imprévisibles", est généralement le résultat d'un manque d'informations sur le sous-sol et d'études insuffisantes (cf. § 3.1 ci-après), ne permettant pas de concevoir des ouvrages adaptés à une éventuelle remontée de nappe. Comme souvent en pareil cas, quelques "pour-cent" d'études en moins entraînent quelques dizaines ou centaines de "pour-cent" en plus pour le coût final des travaux, reprise en sous oeuvre comprise.

Il peut s'agir :

- d'interventions "actives", en agissant sur la nappe, de façon à rabaisser le niveau des eaux souterraines, par les techniques classiques du pompage (puits, forages) ou du drainage (galeries avec exhaure gravitaire), ou bien encore en réalisant des barbacanes dans les parois latérales des bâtiments et en pompant les eaux infiltrées depuis l'intérieur. Rappelons que les pompages particuliers n'ont qu'un effet localisé et que des pompages plus nombreux et judicieusement implantés peuvent constituer une solution optimisée dans de nombreux cas (après simulation par modèle mathématique) ;
- d'interventions "passives", en agissant sur les constructions souterraines, de façon à rétablir non seulement leur étanchéité, mais aussi leur stabilité. Le rétablissement de l'étanchéité des sous-sols submergés passe généralement par la réalisation d'un cuvelage étanche interne, en sous-oeuvre, avec éventuellement des injections dans les terrains environnants (alors qu'un cuvelage externe aurait pu être réalisé dès l'origine, à un coût nettement moindre). Encore faut-il une structure suffisamment résistante pour équilibrer les pressions de l'eau, sans que les parois ne se fissurent (nécessité de renforcement des parois soumises à ces pressions, et souvent de toute la structure, toujours en reprise en sous-oeuvre) et sans que l'ouvrage ne flotte sous la poussée d'Archimède (nécessité de lestage du bâtiment, c'est-à-dire épaissement du radier lorsque les sous-pressions restent faibles, inférieures à 1 t/m^2 , sinon ancrage du bâtiment à une masse suffisante de terrain, au moyen de boulons passifs ou de tirants précontraints mis en place dans les terrains sous-jacents et solidarités au radier renforcé). Par ailleurs, des travaux spéciaux de reprise en sous-oeuvre peuvent s'avérer nécessaires si les "eaux qui remontent" sont susceptibles d'attaquer et de corroder les éléments des fondations et parties immergées des ouvrages (par exemple attaque du béton des pieux par des eaux chargées en sulfates - cf. § 1.4 c et d) ;
- ou encore d'une combinaison de ces deux types d'interventions.

Compte tenu de l'apparition relativement récente du phénomène de remontée de nappes, la majeure partie des désordres fait l'objet de procédures judiciaires qui n'ont pas atteint leur terme et restent couvertes par le secret (de la part des juges, des experts ou des assurances), ce qui n'a pas permis de réaliser une étude suffisamment large du coût des dommages induits.

Quelques approches économiques intéressantes ont cependant pu être réalisées :

- Ville de Saint-Etienne :
 - Frais d'installation des pompages : pris en charge par les Houillères et l'Etat
 - Frais de fonctionnement : 110 000 F/an (valeur 1987)
- Commune de Wingles (8 500 habitants) - Pas-de-Calais - Bassin Minier
 - Investissement (une pompe) : 341 500 F
 - Redevance Agence de bassin : 80 000 F/an (valeur 1987)
 - Frais de fonctionnement : 120 000 F/an

- Commune de Lourches (Nord) - Bassin industriel et minier :
 - Frais de fonctionnement (une dizaine de pompages répartis) : 400 000 F/an (valeur 1987)
- Parking Carnot à Lille :
 - Coût annuel du pompage de mise hors d'eau (reconnaisances insuffisantes) : entre 10 000 et 265 000 F/an selon les conditions hydrogéologiques de l'année dans le secteur concerné.
- **Exploitation de l'enquête du Bureau Sécuritas (MM. LOGEAIS et AUROUSSEAU) sur les maçonneries enterrées de bâtiments (valeur 1988) :**
 - Bâtiments individuels : sur 90 sinistres, 50 % ont des coûts inférieurs à 60 000 F (drains, puisards, renforcement de dallage) et 35 % ont des coûts compris entre 60 000 et 130 000 F (création complète de cuvelage). Des coûts nettement plus élevés correspondent à une indemnisation pour abandon d'un sous-sol inutilisable, ainsi qu'à la démolition complète d'une maison avec reconstruction à un niveau plus élevé.
 - Bâtiments collectifs : sur 39 sinistres, 80 % ont des coûts inférieurs à 120 000 F. La réalisation de cuvelages s'élève de 40 000 F à 80 000 F pour les cas les plus simples ou les plus limités (chaufferie) jusqu'à plus de 400 000 F pour les cas les plus importants. Les coûts peuvent atteindre plusieurs millions de francs : démolition du cuvelage existant et reconstruction ; rehaussement de cuvelage existant avec lestage ou ancrage du bâtiment ; renforcement important des structures.
- L'exploitation des quelques comptes-rendus disponibles de procès fournit des valeurs du même ordre que celles de l'enquête ci-avant.

Par ailleurs, de l'étude des remontées de nappes sous l'agglomération de Londres, parue en 1989, les estimations suivantes peuvent être extraites :

- en l'absence de mesures préventives, le coût des dommages aux immeubles (liés au gonflement des argiles et aux déformations différentielles en résultant) serait de l'ordre de 10 millions de Livres (base 1988) ;
- sur les 130 km (au moins) de tunnels se trouvant dans les secteurs à risques, des travaux de réparation - confortement pourraient s'avérer nécessaires sur environ 36 km, pour un coût compris entre 2 et 35 millions de Livres ;
- tant que l'évolution de la remontée de la nappe restera incertaine, les projets (surtout ceux de tunnels) devront intégrer des dispositions préventives, dont le surcoût annuel serait de l'ordre de 4 millions de Livres ;
- deux schémas de maîtrise des fluctuations des eaux souterraines par pompage ont été étudiés : à une échelle régionale, probablement par les services légalement chargés des eaux souterraines, ou bien à une échelle locale, par les maîtres d'ouvrage individuels concernés. Ces estimations de coût sont respectivement d'environ :
 - 6 et 27 millions de Livres, pour l'investissement initial,
 - 1 et 4 millions de Livres, pour le fonctionnement annuel.

Relevons le dernier alinéa de cette étude (conclusion n° 13) :

La conception et le dimensionnement des futurs ouvrages doivent tenir compte des niveaux que la nappe profonde pourrait atteindre. Il n'y a actuellement aucune garantie de mise en oeuvre d'un schéma régional de maîtrise du niveau des eaux souterraines, et il est donc recommandé de ne pas faire l'hypothèse d'un tel schéma dans les projets de construction d'immeubles ou de tunnels.

3 - LE TRAITEMENT PRÉVENTIF DES REMONTÉES DE NAPPES D'EAU SOUTERRAINE

Même s'il est impossible aux spécialistes du sous-sol et de l'aménagement régional ou urbain, de prévoir l'évolution du niveau des eaux souterraines au-delà du court terme, il n'en reste pas moins vrai que des actions préventives peuvent être mises en oeuvre :

- **actions préventives directes**, visant à limiter le facteur principal de remontée, à savoir la recharge artificielle des nappes : maintien en activité de forages, réhabilitation de réseaux non étanches, limitation des rejets, entretien des réseaux de drainage. Ces actions directes peuvent consister également en une meilleure prise en compte de l'impact des activités humaines sur le contexte hydrogéologique (ne pas supprimer une couche imperméable en curant un cours d'eau, rétablir les continuités hydrauliques, cf. les exemples cités en 1.3). Il peut s'agir aussi d'actions volontaristes (réalisation d'ouvrages de pompages *ad hoc* par exemple - cf. le cas de Londres), appuyées sur des études prospectives (cf. ci-après) ;
- **actions préventives indirectes**, visant à estimer et quantifier l'évolution de la nappe dans le temps et dans l'espace, de façon à optimiser la conception des aménagements envisagés et prévoir des dispositions constructives adaptées en cas de dépassement des "seuils" retenus pour le niveau des nappes lors du dimensionnement de ces ouvrages :
 - recueil et archivage des données de base (contexte hydrogéologique naturel et constructions ou activités susceptibles de l'influencer),
 - études prospectives - statistiques et corrélations sur les niveaux piézométriques, modèles mathématiques de simulation du comportement des nappes soumises à des conditions artificielles ou modifiées par des activités ou aménagements, qu'ils soient superficiels ou souterrains. Le prix de revient de telles études est sans commune mesure avec les conséquences financières de situations imprévues et d'autant plus fâcheuses qu'il s'y attache un effet de surprise.

Il convient d'insister sur le fait que la démarche fondamentale de la prévention consiste en une **meilleure information**. Il faut absolument rendre accessible facilement l'information relative à tous les acteurs : les particuliers, les entreprises et bureaux d'étude, ainsi que les collectivités, organismes et administrations concernés :

- les données de base du sous-sol (géologie, hydrogéologie, travaux et aménagements modifiant le milieu naturel). Cf. les banques de données, les cartes et documents relatifs à l'utilisation et à l'aménagement du sol et du sous-sol ;
- les règles de l'Art en matière d'études hydrogéotechniques et d'études d'impact, ainsi que la pathologie des remontées de nappe. Cf. le système SYCODES de l'Agence Qualité Construction pour la collecte d'informations sur les désordres de la construction.

3.1 - AMÉLIORER LA CONCEPTION ET LA GESTION DES PROJETS DE CONSTRUCTION ET D'AMÉNAGEMENT

Le phénomène actuel de remontée de nappes dépasse très largement le cadre spatial et temporel des phénomènes hydrogéologiques habituellement pris en compte dans les "études de sol". Le DTU 14.1 "Travaux de cuvelage", révisé en octobre 1987, retient d'ailleurs comme **niveau d'eau pour le projet**, "sauf justifications spéciales", "le niveau exceptionnel et conventionnel de l'eau EE qui correspond au niveau des plus hautes eaux prévisibles plus 50 cm", sans commentaire aucun sur les modalités, difficultés et limites de cette prévision.

Il conviendrait que les textes normatifs et les règles professionnelles soient beaucoup plus explicites, et qu'ils obligent par exemple les participants à l'acte de construire ou d'aménager, à compléter la définition du "niveau d'eau souterraine de projet" par la description la plus détaillée possible des hypothèses prises en compte pour les conditions hydrogéologiques - fluctuations naturelles, conditions d'exploitation, modifications des conditions naturelles d'écoulement des eaux souterraines. Ceci permettrait :

- de sensibiliser davantage les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'oeuvre aux variations anthropiques éventuellement importantes du niveau des nappes, variations dépassant nettement le marge de sécurité de 50 cm prévue ci-avant dans le cas d'ouvrages partiellement immergés, ces mêmes variations pouvant conduire à ce que le niveau d'eau atteigne les parties enterrées d'ouvrages situés très au-dessus de la nappe au moment de leur conception,
- de définir avec davantage de clarté le "niveau d'eau souterraine de projet", ainsi que le **niveau de protection des structures vis-à-vis des différentes actions possibles de l'eau souterraine** (cf. § 1.4). Il y a encore beaucoup trop d'études de sol, comportant seulement la mention d'un niveau piézométrique mesuré lors des reconnaissances ;
- de prévoir, en temps utile et en toute connaissance de cause, les dispositions constructives relatives non seulement au "niveau d'eau souterraine de projet", mais aussi à un dépassement toujours possible de ce "seuil".

Quelles peuvent être ces dispositions constructives ? Elles sont bien connues des spécialistes du sous-sol, et doivent être adaptées aux conditions techniques et socio-économiques du projet, sans oublier de prendre en compte leurs impacts éventuels sur l'environnement, notamment du point de vue hydrogéologique :

- travaux d'étanchéité (injections, etc...), cuvelage total ou partiel (jusqu'à un "seuil" clairement défini) ;
- puits et forages externes de rabattement, fonctionnant en permanence ou à partir d'un certain "seuil", au droit d'une construction isolée ou d'un secteur plus vaste après concertation locale ou régionale, permettant d'optimiser leur implantation sur la base de simulations ;
- radiers drainants ou parois à barbacanes, avec dispositifs internes de relevage et de pompage des eaux ;
- galeries ou tranchées drainantes, pour mise hors d'eau de secteurs étendus (après optimisation à l'aide de modèles hydrogéologiques) ;
- travaux complémentaires, selon le cas, pour résister aux sous-pressions (lestage, ancrage, etc.) ou bien pour rétablir la continuité hydraulique et réduire l'effet de barrage souterrain (siphons, parois moulées en "jambes de pantalon", etc.) ;

- dispositifs complémentaires, en cas de dépassement du "seuil" défini pour le "niveau d'eau souterraine de projet" - cf. certaines des dispositions évoquées ci-dessus : pompages externes, barbacanes et pompages internes - ou bien barbacanes et acceptation de l'inondation, supposée momentanée et exceptionnelle d'un niveau de sous-sol.

Signalons également que le Code de la Construction et de l'Habitation indique simplement (art. R 111) "les logements doivent être protégés contre les infiltrations et les remontées d'eau", sans autre précision, sans qu'aucun arrêté ne traite des exigences relatives à ces infiltrations et remontées d'eau, pouvant provenir des agents climatiques, du ruissellement ou des nappes d'eau souterraine, voire des activités des occupants.

Un progrès a été enregistré avec la publication en février 1983 du projet de modification du DTU 11.1 ("Etude géotechnique et reconnaissance des sols", initialement paru en décembre 1968 sous le titre "Travaux de sondage des sols de fondation"). Citons ci-après quelques extraits :

« 3.1. L'étude géotechnique

L'étude géotechnique se rapporte aux sols et aux eaux souterraines en tant qu'éléments intervenant dans la stabilité et le bon comportement des constructions provisoires ou définitives. Elle est destinée à fournir au maître d'oeuvre les données relatives au comportement du sol qui lui sont nécessaires pour la conception et la construction des ouvrages et celles relatives à leur incidence sur l'environnement

.....

3.3. L'ingénieur géotechnicien

.....

Il est chargé par le maître d'oeuvre, pour le compte du maître d'ouvrage, d'une mission de conseil auprès du maître d'oeuvre et des concepteurs pour :

.....

- *l'étude et l'incidence des travaux à l'intérieur du périmètre géotechnique de protection.*

.....

3.6. Le périmètre géotechnique de protection (PGP)

Le périmètre géotechnique de protection est la frontière de la zone dans laquelle :

- *la bonne tenue du sol et des ouvrages existants d'une part,*
 - *la bonne tenue des ouvrages à construire pendant et après les travaux d'autre part,*
- peuvent avoir des interactions qui doivent être étudiées. » »*

Ce projet de DTU n'a cependant pas fait l'objet, à ce jour, d'une mise au point définitive.

Il conviendrait d'élargir cette notion de périmètre géotechnique de protection, en prenant davantage en considération la dimension "sous-sol" ainsi que les aspects autres que la bonne tenue du sol et des ouvrages existants ou à construire, notamment les incidences sur les eaux souterraines et l'environnement.

C'est pourquoi nous proposons de créer la notion de **VICE**, "**V**olume d'**I**nteraction **C**onstruction - **E**nvironnement", pour englober à la fois les préoccupations de sécurité des ouvrages (interaction sol/structures) et celles d'impact sur l'environnement au sens large, naturel ou construit, que ce soit dans les études géotechniques ou dans les études d'impact de constructions ou d'aménagements, qu'il s'agisse de projets isolés ou étendus.

Ces dispositions ou ces règles constructives, professionnelles ou réglementaires nécessitent le **développement et la mise à jour des banques de données**, et la convivialité de leur interrogation, sur les points suivants :

- structure géologique du sous-sol (cf. Banque du Sous-Sol, gérée par le BRGM à partir des déclarations faites en application des articles 131 et 136 du Code Minier) ;
- niveaux piézométriques, qualité et température des eaux souterraines (BRGM, DIREN, ...) ;
- débits prélevés ou injectés (Agences de Bassin,...) ;
- nature et situation des réseaux enterrés (de telles banques de données existent déjà ou sont en cours de constitution dans plusieurs agglomérations) ;
- également fondations et aménagements souterrains. C'est déjà le cas à Helsinki, depuis une douzaine d'années, grâce à une concertation entre les Services Techniques de la Ville et les bureaux d'ingénierie. Il s'agit cette fois, grâce à une information complète et à une réglementation adaptée, d'éviter tout rabattement susceptible de dénoyer et donc d'entraîner le pourrissement des pieux de fondation en bois d'anciens bâtiments.

La mise à jour en temps réel de ces données suppose l'existence et l'exploitation :

- d'un réseau de surveillance des eaux souterraines suffisamment dense et bien réparti,
- d'un système fiable de recueil des débits de prélèvements ou de rejets,
- d'un centre de stockage des données relatives aux réseaux enterrés, à l'urbanisme souterrain, et à l'aménagement d'une manière générale.

Il conviendrait parallèlement d'améliorer la partie "connaissance du milieu souterrain - constat de la situation à une date donnée - avertissement sur les variations du niveau des eaux souterraines", dans les **documents d'information** diffusés auprès des particuliers, des professionnels et des responsables locaux ou régionaux concernés (via l'Agence Qualité Construction par exemple), ainsi que dans les **documents d'urbanisme** quelle que soit leur échelle (SDAU, POS, MARGU). Les **sources d'information** devront être diffusées le plus largement et le plus régulièrement possible.

3.2 - AMÉLIORER LES OUTILS DE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES... ET SUPERFICIELLES

Les conditions de la gestion des eaux souterraines sous les agglomérations permettant d'envisager la maîtrise de leurs variations de niveau d'eau impliquent la mise en oeuvre des mêmes types d'outils que ceux utilisés habituellement pour la gestion des réservoirs aquifères. La principale différence repose sur l'objectif "Exploitation optimisée d'un aquifère à un seuil de niveau donné", dans un contexte dense d'acteurs variés.

Ces outils sont :

- inventaire précis des ouvrages de prélèvement ou de rejet, des obstacles souterrains à l'écoulement (parois étanches, barrages) ;
- inventaire et surveillance des variations de débits prélevés (ou injectés) ;
- création et entretien de réseau automatisé (si possible par télésuivi) de surveillance des fluctuations des niveaux d'eau des différentes nappes superposées éventuelles ;
- recueil du maximum de données concernant les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères concernés (perméabilité ou transmissivité, porosité ou coefficient d'emmagasinement) ;
- intégration de toutes ces données factuelles en banque de données relationnelles, validées et actualisées, information du public ;
- mise en oeuvre de modèles de simulation des écoulements, calés aussi bien en régime permanent qu'en transitoire à l'aide des historiques de mesures ;
- exploitation de ces modèles pour simuler différents scénarios de fonctionnement des ouvrages en fonction d'objectifs de maîtrise des niveaux d'eau ;
- sélection et mise en oeuvre avec des cahiers des charges précis des dispositifs existants, à créer ou à aménager pour atteindre ces objectifs ;
- maintenance des installations et du suivi ;
- évaluation technique et économique de la mise en oeuvre et de l'exploitation de ces outils ;
- étude de l'impact et des effets annexes de ces aménagements (conditions de rejets des eaux pompées dans le milieu naturel, via des adductions existantes ou à créer, incidences géotechniques et hydrochimiques éventuelles, etc.).

Cette panoplie d'outils et d'études techniques est indispensable pour espérer une action globale à l'échelle de l'aquifère ou de la zone d'aquifère concerné, pour démontrer la validité des choix dégagés, convaincre le plus grand nombre d'acteurs d'y participer en acceptant les contraintes et les avantages qui en découlent.

3.3 - ASSURER LA GESTION DE L'ESPACE SOUTERRAIN ET DIFFUSER L'INFORMATION QUANT AUX OBJECTIFS ET AUX RÉSULTATS

Tous ces outils et études ne seront utiles que si une volonté politique forte anime les principaux partenaires représentatifs concernés dans le secteur géographique à l'aplomb de l'aquifère dont les niveaux d'eau doivent être maîtrisés.

En raison du caractère caché des eaux souterraines, des incidences financières immédiates de tels projets, des risques d'implication juridique, en cas d'incidents ou de dysfonctionnements, d'une mauvaise évaluation et appréciation des avantages à gérer collectivement le milieu naturel fortement influencé par les pratiques d'acteurs variés, il est généralement malaisé de susciter et d'identifier un maître d'ouvrage de cette gestion concertée du niveau des eaux souterraines. Par essence, il doit être de nature publique. En effet, il devra :

- représenter l'intérêt général,
- afficher une politique claire pour tous les acteurs, actifs ou passifs, en prise avec les eaux souterraines,
- mettre en place et maintenir les outils de suivi et de contrôle et les installations aptes à maîtriser le niveau de la nappe,
- édicter des contraintes particulières éventuelles,
- définir géographiquement les secteurs à risques et diffuser les prescriptions afférentes dans le cadre des documents d'urbanisme (POS, PER, permis de construire, etc.) et réglementaires (SAGE, schémas d'aménagement et de gestion des eaux - cf. article 5 de la loi 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, et le décret n° 92-1042 du 24 septembre 1992),
- informer les acteurs des résultats des travaux en insistant sur la pérennité des avantages acquis pour une meilleure occupation du sous-sol.

CONCLUSION

L'étude, réalisée sous l'égide du Plan Urbain, dans le cadre du Programme finalisé "L'eau dans la Ville" a permis à un groupement constitué d'hydrogéologues, de géotechniciens, de sociologues, d'économistes et de spécialistes du droit de l'environnement, du BRGM, CERPE, CREAM et IDE, en liaison avec un groupe de représentants des collectivités locales, des agences de bassin, des agences d'urbanisme, des assureurs, des bureaux de contrôle et des administrations, de mieux appréhender les phénomènes de remontée de nappes qui se manifestent dans un certain nombre d'agglomérations françaises.

Les régions concernées en France par les remontées de nappe sont principalement les Bassins miniers du Nord - Pas-de-Calais, de Saint-Etienne, la région parisienne et notamment Paris et les départements de la couronne (Seine-St-Denis et Hauts-de-Seine), l'agglomération lyonnaise et plus particulièrement la rive gauche du Rhône. A des degrés moindres, sont également atteintes certaines villes comme Strasbourg et l'agglomération rouennaise. Quelque 4 millions d'habitants vivent dans les secteurs sujets aux remontées de nappe.

Les incidences des remontées de nappe sont abordées comme le résultat d'une série d'actions anthropiques modifiant le comportement des nappes d'eau souterraine au-delà des simples variations interannuelles naturelles. Des arrêts de prélèvements importants dans les aquifères à l'aplomb des agglomérations induits par le transfert d'établissements industriels hors des villes, la fin des exhaures minières liées à la fermeture des houillères, l'abandon de gros captages d'alimentation en eau potable proches de conurbations peuvent être autant de causes variées et croisées de ce phénomène.

Dans ce monde urbain souterrain, partagé, évolutif, les actions de chacun ont inévitablement des incidences sur celles des voisins. L'eau souterraine a des niveaux d'eau qui ne sont que la manifestation dynamique, localisée, de l'ensemble des prélèvements, rejets et interventions de toutes sortes qui sont effectués dans la formation aquifère ou son environnement. Une diminution importante de l'ensemble des prélèvements dans un réservoir entraîne ainsi de facto une forte tendance à la remontée vers un "état initial" des niveaux d'eau, état théorique ne tenant pas compte des modifications apportées par l'homme à son environnement, notamment des aménagements souterrains. De même, les grands travaux et projets réalisés dans le sous-sol urbain engendrent fatalement des abaissements ou des remontées plus ou moins importants et étendus en fonction du contexte hydrogéologique. Les références locales et les données de base des études d'aménagement en sous-sol doivent non seulement tenir compte des caractéristiques permanentes hydrogéologiques et géotechniques du sous-sol, mais également de l'historique des actions influentes sur le niveau d'eau : *ce qui peut paraître bien étudié dans un état de référence peut être catastrophique dans un autre état.*

Dans ce contexte, la démarche du groupement a porté sur :

- la réalisation d'enquêtes auprès des différents acteurs de quelques agglomérations concernées (Paris, Saint-Etienne, Lyon, Bassin minier du Nord - Pas-de-Calais, Moutiers),
- la recherche d'enseignements à tirer des résultats d'expériences étrangères et notamment de l'agglomération londonienne,
- l'évaluation des coûts des dommages à partir des données des assureurs et de la jurisprudence,
- des réflexions sur le droit de l'eau et le droit de l'environnement.

Les enquêtes, menées par le groupement, ont été orientées vers ce dernier type d'acteurs. Plusieurs conclusions peuvent être tirées des conversations diverses effectuées :

- la connaissance des eaux souterraines et leur comportement en régime influencé sont généralement mal appréhendés et les conséquences de modifications à ce régime ignorées avant que des manifestations intempestives surviennent ;
- la mémoire collective est faible et, même dans des secteurs ayant subi déjà les effets de remontées de nappe, comme par exemple durant les grèves de 1936 ou durant la guerre de 1939-45, de tels phénomènes ne sont souvent pas pris en compte ;
- en cas de remontée de nappe dans un secteur donné, deux types de comportement peuvent être notés, au-delà d'une certaine volonté d'information du public :
 - d'un côté, ceux qui considèrent que ce problème relève du particulier, de l'action de chacun au niveau de sa parcelle. Ils ne souhaitent donc pas s'engager dans une résolution globale du phénomène ;
 - de l'autre côté, ceux qui, contraints par des obligations réglementaires (mines et carrières par exemple) ou par la récession socio-économique de leur région, sont amenés à mettre en place des dispositions correctrices aptes à diminuer, si ce n'est, annihiler les effets des remontées de nappe (pompages collectifs, drainage, etc.).

La résolution du problème des remontées de nappes

Les remontées de nappe intéressent des secteurs bien déterminés du territoire. Leur examen est donc restreint géographiquement et concerne une liste finie d'acteurs, particuliers ou responsables de grands aménagements.

A un niveau global, une gestion prévisionnelle des impacts de toutes les modifications croisées des différents acteurs ne peut s'envisager, au-delà des outils techniques et réglementaires utiles, que dans le cadre de consensus, de gestion concertée, élargie du patrimoine.

Les mesures suivantes apparaissent nécessaires :

- un maître d'ouvrage, représentatif des acteurs de la zone concernée, doit être identifié et reconnu par l'ensemble des acteurs,
- l'information doit circuler dans les deux sens sur les types de changement (prélèvements, rejets, constructions) et leurs incidences,
- des remèdes optimisés pour obtenir l'effet protecteur le plus large des investissements publics et privés doivent être imaginés, étudiés, mis en oeuvre et maintenus,
- un arsenal de mesures réglementaires plus ou moins contraignantes, propres au système aquifère concerné, doit être édicté, expliqué et accepté dans le cadre d'une analyse - bilan des effets des remontées de nappe.

Un système de gestion patrimoniale du milieu doit tenter de dépasser l'horizon du court terme. Il doit élaborer, et être capable de mettre en oeuvre, des parades à différents types de scénarios en évaluant le coût le mieux optimisé possible pour l'ensemble des installations publiques et privées à protéger.

Des aménagements aux textes réglementaires existants devraient être envisagés pour accompagner une meilleure prise en compte de la volonté consensuelle locale. D'une part, il conviendrait de mieux définir et apprécier le contexte immédiat de toute installation (VICE = "volume d'interaction construction - environnement"), d'autre part, l'ensemble des acteurs s'intégrerait dans une planification de gestion de l'aquifère telle que celle proposée dans le cadre de la nouvelle loi sur l'eau (SAGE = "schéma d'aménagement et de gestion des eaux").

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

A - Études de cas

ANDRE P., RICH X. - Remontée des nappes dans la vallée de la Seine (Département des Hauts-de-Saine). Rapport BRGM, 1986 (86 SGN 006 IDF).

AUST H. *et al.* (en allemand) - Information sur la remontée de nappes après réduction des prélèvements en RFA. Rapport BGR Hanovre, janvier 1984.

BARON J.C., CARRARA M., SARRADIN J. - Travaux de mise hors d'eau du centre téléphonique de Bobigny (Seine-St-Denis) - Dossier de Consultation d'Entreprises. Rapport BRGM n° 89 IDF 037, avril 1989.

BECKELYNCK J. - Remontée de nappes dans le Bassin minier Nord - Pas-de-Calais. Etude globale et zones sensibles. Examen sur modèle mathématique en régime permanent. Rapport BRGM, 1985 (83 SGN 653 NPC).

BERGER G. - Etude de l'évolution piézométrique des nappes d'eau souterraine à Paris et en proche banlieue au cours des dix dernières années. Rapport BRGM, 1983 (83 SGN 098 IDF).

BERGER G. - Remontée de nappes. Désordres engendrés en milieu urbain : agglomération parisienne. Rapport BRGM, 1983 (83 SGN 808 IDF).

BRANEYRE M., KREBS G., VANÇON J.P. - Plan d'exposition aux risques d'inondation de l'Ill et de la Bruche dans la Communauté urbaine de Strasbourg. Délimitation des zones sensibles aux remontées de nappe. Rapport BRGM, 1988 (88 SGN 497 ALS).

CARLIER S. - Remontée de la nappe de la craie dans le Bassin Minier du Nord-Pas-de-Calais.

1. Cartes des profondeurs et remontées de la nappe 1975-1987 (1/100 000 et 1/400 000).

2. Perception du phénomène - Analyse et résultats d'une enquête.

3. LIVRE BLANC (pour le Conseil Régional Nord-Pas-de-Calais).

Thèse de doctorat de l'Université des Sciences et Techniques de Lille - Flandres - Artois - Novembre 1989.

CHEVALIER - LEMIRE G. - Contournement ouest de Toulouse (RD 980) - Modèles hydrodynamiques préliminaires dans les zones du tracé en tranchée avec parois moulées recoupant la nappe de la basse terrasse de la Garonne (tranchées de Tournefeuille et du Ramelet-Moundi) - Rapport BRGM 88 SGN 148 MPY, février 1988.

CIRIA - Special Publication 69 - The engineering implications of rising groundwater levels in the deep aquifer beneath London - 1989.

CIRIA - Special Publication 92 - Rising groundwater levels in Birmingham and the engineering implications - 1993.

CIRIA - Report 129 - A study of the impact of urbanisation on the Thames Gravels aquifer - 1993.

DIFFRE Ph. - Evolution récente du niveau des nappes peu profondes dans Paris et historique des prélèvements. Rapport BRGM, 1979 (79 SGN 86 IDF).

DOREAU J. - Les eaux d'exhaure des mines fermées et l'alimentation en eau potable. TSM. L'EAU, février 1986.

GOUISSET Y., ROUSSELOT D. - Hydrogéologie stéphanoise. Zones de drainage. Etude thermographique par télédétection aérienne. Rapport BRGM, 1985 (85 SGN 586 RHA/GEO).

GRUA B. - Etude de la remontée des nappes en région parisienne à partir des travaux RATP - Rapport de stage IGAL-RATP (janvier-avril 1988).

LAUVERGEON A. - Les problèmes posés par les nappes phréatiques à Paris. Annales des Mines, juillet-août 1988.

MARGAT J., ROUX J.C. - Interaction des impacts des aménagements et des exploitations sur les eaux de surface et les nappes souterraines. Société Hydrotechnique de France - XIX Journées de l'Hydraulique. "L'impact des activités humaines sur les eaux continentales". Paris - 9-11 septembre 1986. Question n° III - Rapport n° 14.

PINTE J.C. *et al.* - Centre International d'Affaires de Lille - Simulation de l'influence des projets délimités par l'emprise de la ZAC 1 sur les eaux souterraines en régime permanent d'étiage et de crue (modèle VAL) - Rapport BRGM 30930 NPC 4S 90, mai 1990.

PRUNIER - LEPARMENTIER A.M. - Les problèmes géologiques et géotechniques de la ville de Paris. Thèse de doctorat (géologie de l'ingénieur) de l'ENS Mines de Paris - Décembre 1988.

PRUNIER - LEPARMENTIER A.M. - Evolution de la nappe phréatique depuis un siècle dans Paris et niveaux connus en 1990 - Revue Française de Géotechnique n°56, juillet 1991.

RISLER J.J. - Prévention et contrôle des conséquences de l'exploitation des nappes phréatiques : exemple de la nappe phréatique rhénane - Geothermie Actualités - vol. 3 n° 4, 1986.

VANÇON J.P., TALBOT A. - Métro de la Communauté Urbaine de Strasbourg. Incidences de la construction du métro sur les écoulements souterrains. Rapport BRGM 88 SGN 713 ALS - septembre 1988.

WOLFF R., AMAT Ph., DIVET P. - Contournement sud de Strasbourg et dénivellation de la Place de l'Etoile - Travaux - mars 1991.

B - Aspects hydrogéologiques et géotechniques

Comptes-rendus du Neuvième Congrès Européen de Mécanique des sols et des travaux de fondations - Dublin, 31 août-3 septembre 1987 - "Les actions de l'eau souterraine en géotechnique".

Comptes-rendus du Symposium International "Hydrological processes and water management in urban areas" - UNESCO - Duisbourg, 24-29 avril 1988.

Comptes-rendus du Colloque national - Chartres, 26 avril 1990 - "Géotechnique et qualité". Union Syndicale Géotechnique et Agence Qualité Construction.

BECKELYNCK J. - Prise en compte du sous-sol pour l'établissement d'un POS. Elaboration d'un dossier type et exemples d'application. Rapport BRGM, 1988 (88 SGN 593 NPC).

BERGERON C., DEHAYS C., POINTET T. - Remontée des nappes d'eau souterraine, causes et effets. Rapport BRGM, 1983 (83 SGN 353 EAU).

CARDINAL J., DE CAZENOVE E. - Ouvrages profonds à radiers perméables, stations de pompes automatiques, écrans d'étanchéité, reconnaissances et calcul des débits - Travaux, octobre 1971.

COLLIN J.J. - Une cause de pathologie des constructions souterraines, les remontées de nappes. Rapport BRGM, juin 1983.

DEVEUGHELE M., COJEAN, R. MARVY J. - Intérêt et difficultés de l'étude des nappes phréatiques en milieu urbain. Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur n° 28, 1983.

DIFFRE Ph., LECLERC V., THOMAS D., VIAL A., LAROCHE M., LAUVERGEON A - Base de données informatique sur les niveaux des eaux souterraines dans la région parisienne. Colloque ISTED - "Gestion urbaine et développement" - Lyon - 20-22 septembre 1988.

EL MAGNOUNI S. - Méthodologie d'aide à la décision pour l'évaluation et la gestion multicritère des ressources en eau souterraine. Thèse de doctorat (génie civil et minier) de l'Institut National Polytechnique de Lorraine - Nancy - mai 1991.

GOUISSET Y., VERNAY C. - L'eau dans la ville. Création d'une banque de données piézométriques urbaines à Lyon. Rapport BRGM, 1989 (89 SGN 029 RHA).

LOGEAS L. - Les maçonneries enterrées - Agence Qualité Construction - Les Assurances Françaises, 1987.

RICOUR J., JOURDAIN E. - Un réseau piézométrique, pourquoi ? Rapport BRGM n° 87 SGN 127 NPC - février 1987.

C - Aspects socio-économiques

Comptes-rendus du Colloque national - Lyon, 13-14 mars 1979. "Connaître le sous-sol. Un atout pour l'aménagement urbain". Documents du BRGM n° 8 et 29.

Comptes-rendus des journées d'études internationales AFTES - Bordeaux - 21-23 octobre 1987 "Collectivités territoriales et utilisation du sous-sol".

CARLIER S. - Perception du phénomène de remontée de la nappe de la craie dans le Bassin Minier du Nord de la France - Analyse et résultats d'une enquête. Rapport BRGM, 1988 (88 SGN 470 NPC).

DOURLENS C. - Un risque souterrain. La remontée des nappes aquifères. Rapport CERPE-Plan Urbain, mars 1989.

SALVAN J., MEYER I. - Evaluation des coûts induits par les remontées de nappes phréatiques en site urbain. Rapport CREAM-Plan Urbain, juillet 1989.

STEINBERG J., HUSSER J. - La cartographie dynamique applicable à l'aménagement - Ed. SEDES, 1988.

D - Aspects réglementaires et juridiques

Comptes-rendus du Symposium national "Sol et sous-sol et sécurité des constructions". Cannes 25 - 27 octobre 1973.

DTU 11-1 - Projet de modification - "Etude géotechnique et reconnaissance des sols" - Revue Française de Géotechnique - n° 22, février 1983.

DTU n° 14.1 - "Travaux de coulage". Cahier des clauses techniques (notamment § 1.4 - Action de l'eau). Cahier CSTB 2187 - Octobre 1987.

DURONSOY C. - L'eau : prévision des fluctuations des nappes et leurs effets. Journée d'étude sur la responsabilité du géotechnicien. ENPC, décembre 1987.

GAZZANIGA J.L. - Le contentieux du droit de l'eau ; les aspects quantitatifs. Colloque "Les problèmes juridiques de l'eau". Toulouse, 16 mars 1987.

MARGAT J. - La gestion des eaux souterraines en France. Rapport BRGM 86 SGN 169 EAU, mars 1986.

ZAMUTH M.E, UNTERMAIER J. - Etude des mécanismes relatifs à la protection et à la gestion des eaux souterraines en relation avec le phénomène de remontée des eaux souterraines en site urbain - Aspects juridiques et réglementaires - Rapport Institut du Droit de l'Environnement-Plan Urbain, Lyon, août 1988.

Les remontées de nappe et le droit

Les eaux souterraines, à la différence des eaux superficielles, ne font pas l'objet d'une attention particulière de la part du droit. Leur statut est de droit privé alors que leur comportement hydrodynamique ne peut se concevoir qu'au niveau du système aquifère, notion inexistante juridiquement. La protection des eaux souterraines, principalement en vue de leur utilisation pour la fourniture d'eau potable, a conduit à l'élaboration des quelques textes régissant les eaux souterraines (décret - loi de 1935 et déclarations de prélèvements au titre de l'article 40 de la loi de 1964) [ces textes sont remis en question par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 dont on attend les décrets d'application]. Ceci est utile pour le recueil des renseignements nécessaires à la connaissance des réservoirs aquifères mais ne peut directement servir à la prévision des comportements hydrodynamiques à un moment donné en un point donné.

Les juristes n'ont que peu d'éléments pour apprécier les nuisances liées aux remontées de nappe, car il leur est difficile d'identifier un seul responsable ponctuel à une incidence constatée.

La tendance actuelle des jugements, effectués dans les seuls cas d'application de la garantie décennale en matière de construction, est d'examiner de quels documents disposaient ou pouvaient disposer les responsables d'un aménagement au moment où ils ont procédé aux études préalables. De plus en plus, au fil des jurisprudences, le phénomène de remontée de nappe ne peut être considéré comme un "état de catastrophe" (cf. les risques naturels tels que inondations, mouvements de terrain, séismes, cyclones, etc.) en raison du fait que le retour des nappes aquifères à un régime hydrodynamiquement moins influencé est une transition vers un ancien état naturel, même si celui-ci restera perturbé par toutes les autres modifications des caractéristiques d'écoulement de ces aquifères (barrages et parois étanches, affaissements de terrain dus aux exploitations minières, etc.).

De plus, les nuisances provoquées par le relèvement des niveaux d'eau souterraine se laissent difficilement appréhender selon un principe analogue à celui des pollutions ("les pollueurs sont les payeurs") puisqu'elles résultent de la conjonction d'un ensemble d'interventions humaines relatives à l'occupation et à l'exploitation du sous-sol.

L'évaluation des coûts des remontées de nappes

Cette évolution s'avère particulièrement malaisée car, d'une part, les seuls dossiers véritablement utiles sont ceux qui sont instruits dans le cadre de procédures liées à la garantie décennale des constructions, ce qui élimine de fait tous les autres cas, d'autre part, ces mêmes dossiers sont généralement en cours de procédure puisque le phénomène des remontées de nappe n'est apparu franchement qu'à partir des années 70 ; leurs données ne sont pas toujours disponibles.

Les valeurs que, en liaison avec les assureurs et les bureaux de contrôle, on peut tirer de ces dossiers concernent de plus des dédommagements ou des coûts de travaux survenant après la construction de ces bâtiments en litige. Ils portent donc sur des sommes majorées en raison de la difficulté de réalisation des opérations de reprise en sous-oeuvre.

Les interventions sont de trois types :

- actives en agissant sur le niveau de la nappe (pompages, drainages) ;
- passives en tendant à rétablir non seulement l'étanchéité mais aussi la stabilité des bâtiments ;
- combinées si les deux actions sont nécessaires.

Quelques valeurs significatives (valeurs 1987) :

- frais de fonctionnement des pompes à Saint-Etienne (Loire) et à Wingles (Pas-de-Calais) 110 000 à 120 000 F/an ; à Lourches (Nord) 400 000 F/an ; à Lille - Parking Carnot 10 000 à 265 000 F/an selon les variations annuelles de la nappe ;
- sinistres sur des bâtiments individuels :
 - 50 % ont des coûts de l'ordre de 60 000 F
 - 35 % ont des coûts compris entre 60 000 et 130 000 F
- sinistres sur des bâtiments collectifs :
 - 80 % ont des coûts de l'ordre de 60 000 à 120 000 F
 - certains peuvent dépasser 400 000 F.

De l'étude globale des remontées de nappe sous l'agglomération de Londres, les estimations suivantes peuvent être extraites :

- en l'absence de travaux, les dommages qui pourraient endommager les immeubles sont estimés en première approche à 10 millions de Livres (1988) et les réparations sur les tunnels à 35 millions de Livres,
- tant que les évolutions de nappe resteront incertaines, les projets devront intégrer des dispositions préventives dont le surcoût annuel est estimé à 4 millions de Livres,
- deux schémas de maîtrise des fluctuations des eaux souterraines à l'échelle locale et régionale ont été proposés. Les estimations de coût sont respectivement de :
 - 6 à 27 millions de Livres pour les investissements
 - 1 à 4 millions de Livres pour le fonctionnement annuel.

Les acteurs confrontés aux remontées de nappes

Deux grands types d'acteurs peuvent être identifiés :

- les particuliers, aménageurs localisés. Il n'ont qu'une vue partielle du phénomène, symptomatique de leurs orientations techniques et économiques et balisée par leurs compréhensions du droit de propriété du sol et du sous-sol et de la possibilité de droit d'usage de l'eau souterraine qui y circule.

Ce type d'acteur, confronté à ce phénomène, induit par un important changement du comportement d'autres acteurs divers, n'a, en raison de la nature imprécise des textes réglementaires sur les eaux souterraines, que très peu de recours possibles (garantie décennale sur l'immobilier) et il doit tenter de résoudre seul les incidences d'un phénomène qui dépasse ses champs de compétence technique et géographique. En effet, du point de vue juridique, les eaux souterraines lui apparaissent comme composées de multiples parcelles accolées, susceptibles d'appropriation privée ; cette définition des eaux souterraines s'oppose à la réalité fluide de l'élément.

- les collectivités locales et les grands aménageurs structurants qui peuvent et doivent avoir une vue plus générale des composantes naturelles et socio-économiques de leur territoire.