

- des relations hydrauliques avec les eaux de surface,
- des variations de débit et de niveau du cours d'eau,
- des prélèvements en cours.

### ● **Les réserves de la nappe**

Les réserves sont définies en terme de volume. C'est le volume d'eau total contenu dans la nappe à un instant donné.

Pour une nappe libre, c'est le volume total du terrain compris entre le substratum et la surface piézométrique, multiplié par la porosité.

Pour une nappe captive, c'est le volume total du terrain compris entre le substratum et le toit de la nappe multiplié par la porosité (comme pour une nappe libre), auquel on ajoute le volume d'eau supplémentaire dû à la compression. Ce second terme est égal au volume compris entre le toit de la nappe et sa surface piézométrique multiplié par le coefficient d'emmagasinement.

**Les réserves permanentes** représentent le volume d'eau compris entre le substratum et la surface piézométrique moyenne de basses eaux

### ● **Les ressources renouvelables**

Les ressources renouvelables représentent pour une période déterminée l'alimentation totale de la nappe. Elles s'expriment par conséquent en terme de débit, ou donc de volume pour une certaine période, qui peut être l'année, la saison ou le mois.

Les ressources renouvelables sont variables dans le temps, mais sur une période d'une ou plusieurs années on définit généralement leur débit moyen annuel ou leur débit moyen interannuel.

Les ressources renouvelables naturelles sont constituées de :

- l'infiltration des pluies,
- l'alimentation éventuelle par des nappes voisines,
- et la recharge par les cours d'eau, soit souterraine, soit par les inondations.

Aux ressources renouvelables naturelles, s'ajoutent éventuellement des recharges artificielles, comme par exemple l'infiltration des surplus d'irrigation lorsque cette irrigation utilise une ressource en eau extérieure à la nappe. C'est le cas, en particulier de la nappe de la Crau, dans le département des Bouches-du-Rhône, où l'irrigation est pratiquée à partir de canaux important de l'eau de la Durance.

### ● **Les ressources renouvelables exploitables**

C'est le débit maximal que l'on peut prélever dans la nappe, non seulement sans puiser dans les réserves permanentes, mais également compte tenu de contraintes ou d'objectifs particuliers, qui peuvent être :

- d'ordre physique, tel que le maintien impératif, pour diverses raisons, de certains niveaux de la nappe ou du cours d'eau,
- d'ordre chimique ou biologique, tel que le maintien de la qualité de l'eau, par exemple, dans les nappes alluviales littorales, où l'exploitation doit être limitée pour ne pas entraîner l'intrusion d'eau salée marine,
- d'ordre socio-économique, tel que l'augmentation possible du coût de l'eau en fonction du taux d'exploitation.

### ● **Les caractéristiques hydrodynamiques des formations aquifères**

Ce sont la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement. Pour un certain débit de

pompage dans un puits, le rabattement du niveau de la nappe et son évolution dans le temps sont fonction de ces deux caractéristiques.

### ● **Les conditions aux limites de la nappe**

Les limites de la nappe peuvent être :

- des limites imperméables,
- des fronts d'alimentation souterraine par des nappes voisines,
- des exutoires souterrains vers des nappes voisines,
- des limites à niveau imposé par les eaux de surface.

Les conditions aux limites de la nappe influent également sur la baisse de niveau de la nappe provoquée par les pompages : une limite imperméable accroît, au bout d'un certain temps, les rabattements ; au contraire, une limite à niveau imposé par les eaux de surface les diminue.

### ● **Les relations hydrauliques avec les eaux de surface**

(rivières, plans d'eau, gravières, barrages)

Il est nécessaire de connaître ou d'estimer le degré de liaison hydraulique entre la nappe et le cours d'eau, ou les autres eaux de surface éventuellement présentes. Ce degré de liaison est conditionné par la nature et l'état des berges qui peuvent être plus ou moins colmatées.

Sauf dans le cas d'un colmatage total de ces berges, il y a une interaction entre les niveaux des eaux de surface et ceux de la nappe, et des échanges de flux dans un sens ou l'autre.

### ● **Les variations de débit et de niveau du cours d'eau**

Ces variations sont en général saisonnières, mais elles peuvent également être exceptionnelles et imprévues. Elles conditionnent le sens et l'intensité des flux d'échanges entre le cours d'eau et la nappe.

### ● **Les prélèvements en cours**

Les prélèvements par pompage influent directement sur le niveau de la nappe. Selon leur nombre et leurs débits, et en fonction des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe, cette influence est plus ou moins forte.

Il est par conséquent indispensable de mesurer en permanence tous les débits prélevés.

De même, il est important de pouvoir estimer les restitutions directes éventuelles d'eau à la nappe après utilisation, afin de ne prendre en compte que les prélèvements nets, qui seuls influent en réalité sur la nappe.

## **Méthodologie et outils d'étude**

La gestion quantitative de la nappe, qui doit conduire à une exploitation rationnelle des ressources, repose sur l'établissement du bilan hydraulique de la nappe pour différentes périodes de référence.

Les éléments du bilan hydraulique sont représentés sur la figure 45.

Si chacun de ces éléments (entrées et sorties) restait constant dans le temps, la nappe serait en régime permanent, c'est-à-dire que sa variation de niveau serait nulle en tous points. Cet état n'est en fait jamais complètement réalisé dans la nature. Le régime transitoire est de règle et se traduit par

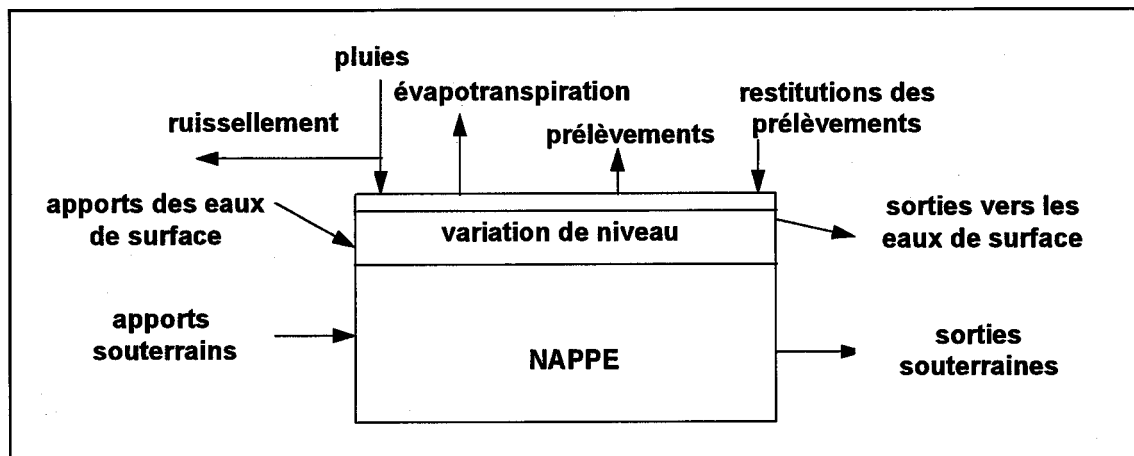


Fig. 45 : Bilan hydraulique

les variations des niveaux piézométriques de la nappe.

L'établissement du bilan, pour une période déterminée, consiste donc à dresser un tableau des débits d'entrée et de sortie.

Lorsque, pour cette période, le total des **débits d'entrée** est supérieur au total des **débits de sortie**, l'aquifère **emmagasine** de l'eau (ceci se traduit par une remontée des niveaux d'eau, du moins en certains secteurs). A l'inverse, si les débits sortants sont supérieurs aux débits entrants, l'aquifère libère de l'eau (baisse générale des niveaux).

Les différents termes du bilan sont calculés ou évalués par des méthodes distinctes et avec un degré de précision variable.

- **La mesure des prélèvements bruts** ne présente pas de difficulté d'ordre technologique. Ils peuvent être comptabilisés avec une bonne précision, à condition évidemment que tous les ouvrages de captage soient équipés de compteurs, et que les mesures soient collectées de manière complète et continue dans le temps.

- **Les restitutions à la nappe** sont difficiles à chiffrer, car elles s'effectuent souvent de manière indirecte, diffuse et hétérogène :

- Pour les eaux à usage industriel, et les eaux à usage domestique lorsqu'il existe un

réseau d'assainissement, les restitutions sont regroupées, mais se font généralement dans les cours d'eau. Elles retournent éventuellement en partie à la nappe, avec un décalage géographique vers l'aval, et un déphasage, mais elles sont alors intégrées dans les flux d'échange rivière-nappe. Pour ces types d'usage, on estime que les restitutions sont généralement de l'ordre de 70 à 80 % des prélèvements bruts.

- Pour les eaux d'irrigation une partie est évaporée et consommée par les plantes (évapotranspiration), l'autre partie est restituée à la nappe par infiltration (surplus d'irrigation). Cette seconde fraction peut être pratiquement nulle pour l'irrigation de type goutte-à-goutte, et peut atteindre 30 %, voire plus, pour une irrigation traditionnelle par canaux. Les surplus éventuels d'irrigation sont en tout cas difficiles à estimer de manière directe.

- **Les pluies diminuées de l'évapotranspiration réelle** constituent les **pluies efficaces** qui se répartissent entre le **ruissellement** et l'**infiltration**.

Le calcul des pluies efficaces nécessite évidemment l'enregistrement des pluies, le calcul de l'évapotranspiration potentielle (fonction des données météorologiques), et la connaissance ou l'estimation de la réserve en eau maximale du sol, ce dernier paramètre repré-

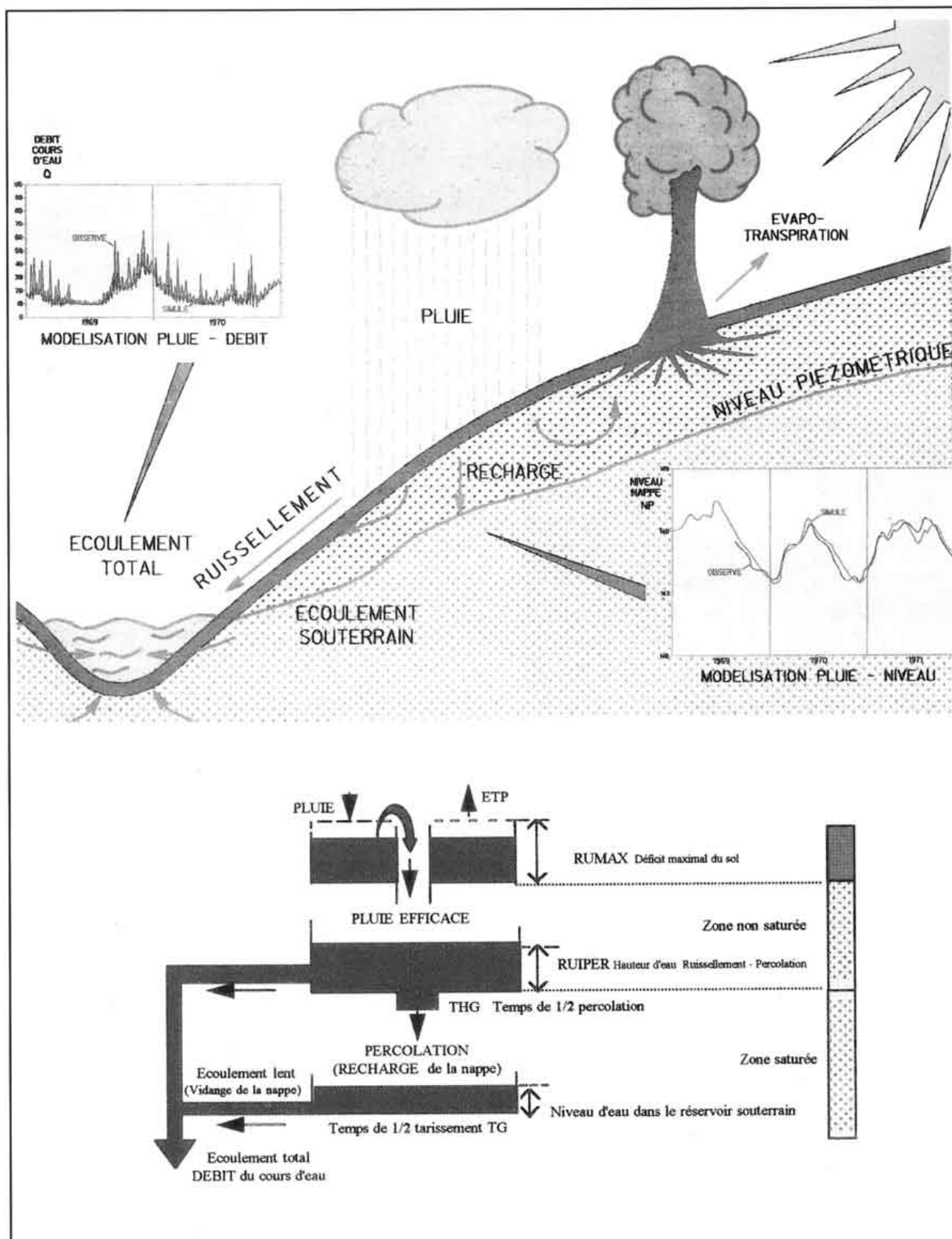


Fig. 46 : Schéma de fonctionnement de Gardénia

La gestion et la protection des nappes alluviales et des captages AEF

sentant la quantité d'eau (exprimée en hauteur d'eau) que le sol peut absorber avant que se produisent les phénomènes d'évapotranspiration, de ruissellement et d'infiltration.

Ensuite, on effectue, par pas de temps journalier, décadaire ou mensuel les bilans enchaînés de la pluie, de l'évapotranspiration potentielle et de la réserve en eau du sol, afin de calculer pour chaque pas de temps l'évapotranspiration réelle et, par différence avec les pluies totales, les pluies efficaces.

La répartition des pluies efficaces entre ruissellement et infiltration dépend de la pente du sol, de la couverture végétale, de la perméabilité des formations superficielles ainsi que de la densité du réseau de drainage. Cette répartition peut être évaluée de manière théorique en attribuant des coefficients à ces différents paramètres, ou déterminée de manière plus précise en utilisant des logiciels de modélisation hydrologique globale (figure 46).

Les **modèles hydrologiques globaux** permettent de simuler à partir d'une séquence de pluies et d'évapotranspiration potentielle :

- soit les variations de débit du cours d'eau à l'exutoire du bassin,
- soit les variations de niveaux piézométriques de la nappe,

et d'ajuster ces variations aux **variations observées** en modifiant automatiquement les valeurs de certains paramètres, dont en particulier la réserve en eau maximale du sol, et le coefficient de répartition entre ruissellement et infiltration.

Les modèles fonctionnent généralement à un pas de temps variable, soit journalier, décadaire, pentadaire, ou mensuel.

Une fois calé sur les observations, le modèle fournit pour chaque pas de temps les valeurs de l'évapotranspiration réelle, du ruissellement et de l'infiltration pour la période considérée. Le calage sera d'autant meilleur que le pas de temps utilisé est court et que la période d'observation est longue.

Le modèle peut, après calage, être également utilisé pour calculer les variations de niveau de la nappe ou de débit du cours d'eau sur une période future avec des données hypothétiques ou prévisionnelles concernant les pluies et l'évapotranspiration potentielle.

- **Les autres termes** du bilan sont les **débits d'échange** (entrées et sorties par écoulement souterrain) **avec les eaux de surface** et éventuellement avec des **nappes situées dans les formations encaissantes**.

Les débits d'échange sont fonction des différences de niveau entre la nappe et les eaux de surface, ou entre la nappe et les nappes voisines, et également fonction de la perméabilité et de l'épaisseur des alluvions. Ces différents facteurs peuvent varier le long des lignes de contact, et les débits d'échange ne pourront être évalués que par tronçons de section à l'intérieur desquels ces facteurs sont considérés comme constants ou à valeur moyenne.

L'évaluation de ces débits d'échange sera plus ou moins précise selon la complexité des lignes de contact entre la nappe et les eaux de surface, et entre la nappe et les nappes voisines. Cette évaluation implique également une bonne connaissance de la perméabilité et de l'épaisseur des alluvions.

### ● **Modèles numériques**

La gestion quantitative des nappes est maintenant grandement facilitée par la construction et l'utilisation des modèles numériques.

Le modèle numérique reproduit le **comportement hydraulique de la nappe**, c'est-à-dire les écoulements de l'eau souterraine.

L'écoulement de l'eau est simulé par le **calcul des niveaux d'eau et des débits**.

Ce calcul, basé sur l'équation du mouvement de l'eau dans un milieu poreux ou équiva-

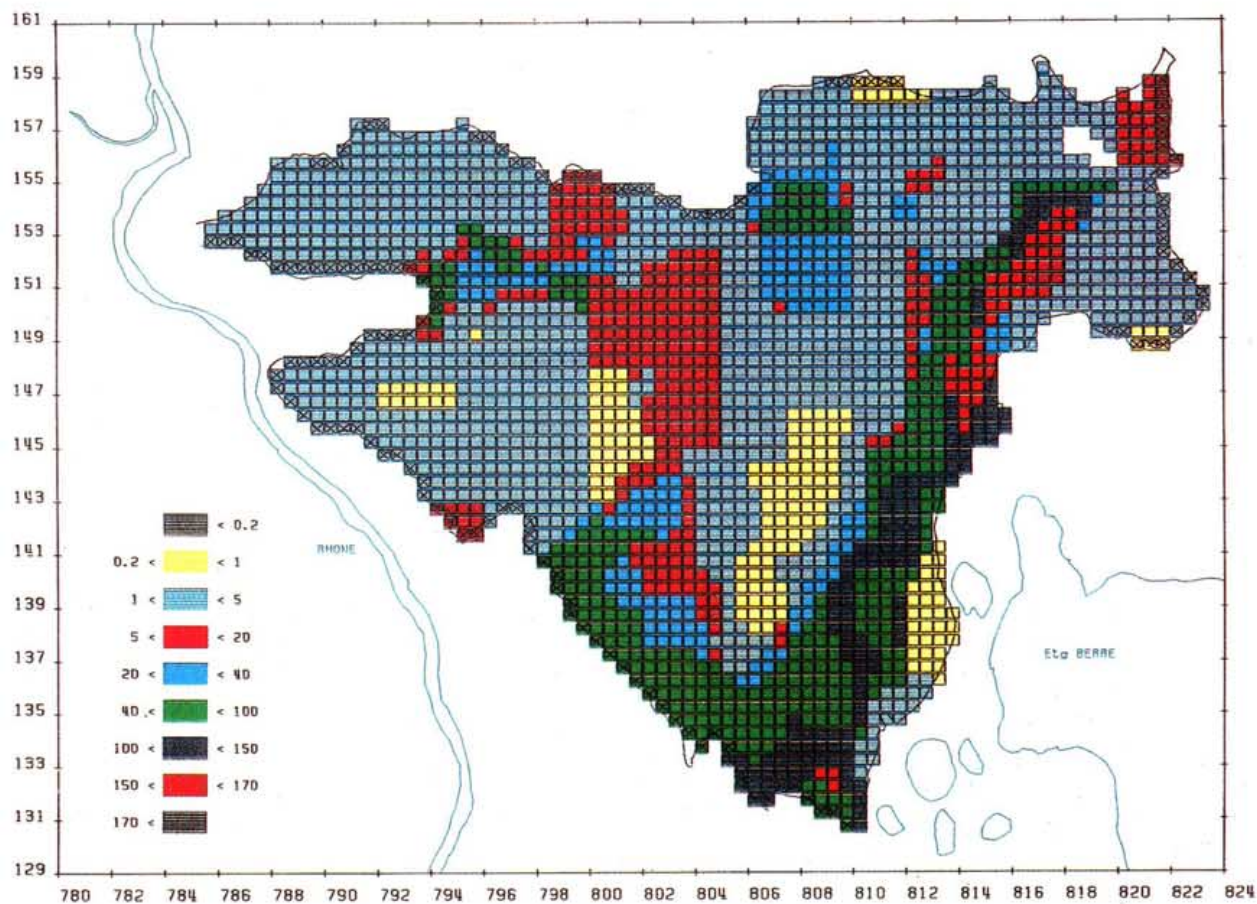


Fig. 47 : Modèle de la nappe de Crau - champ des perméabilités simulées (valeur en  $10^{-4}$  m/s)

tion de diffusivité, est effectué à l'aide d'ordinateurs et de logiciels appropriés.

La surface géographique correspondant à la nappe est divisée en éléments, ou **mailles**, dont la forme et la dimension sont choisies en fonction de l'étendue de la nappe et de la variabilité de ses caractéristiques géométriques et hydrauliques. Le plus couramment on utilise des mailles carrées ou rectangulaires. Les mailles peuvent être également de dimension variable, et cela en fonction de la densité des données existantes et des particularités locales, soit à l'intérieur du domaine, soit sur ses limites (figure 47).

Les modèles peuvent être également conçus, si nécessaire, en représentation tridimensionnelle, ou en représentation multicouche.

### ● Mode opératoire des modèles

Les conditions connues de niveau (par exemple le cours d'eau) ou de débit (infiltration par les pluies, débits de pompage, etc.) sont imposées sur les mailles correspondantes, de même que les caractéristiques hydrauliques connues par les résultats des pompages d'essai. Ensuite, en testant par essais successifs différentes valeurs pour les données manquantes dans les autres mailles, on cherche à obtenir une surface piézométrique calculée aussi proche que possible de la surface piézométrique observée sur le terrain. Cette opération est le calage du modèle (figure 48).

Le calage du modèle est effectué en général d'abord en régime permanent théorique, avec référence soit à une piézométrie de date précise (basses eaux, par exemple), soit

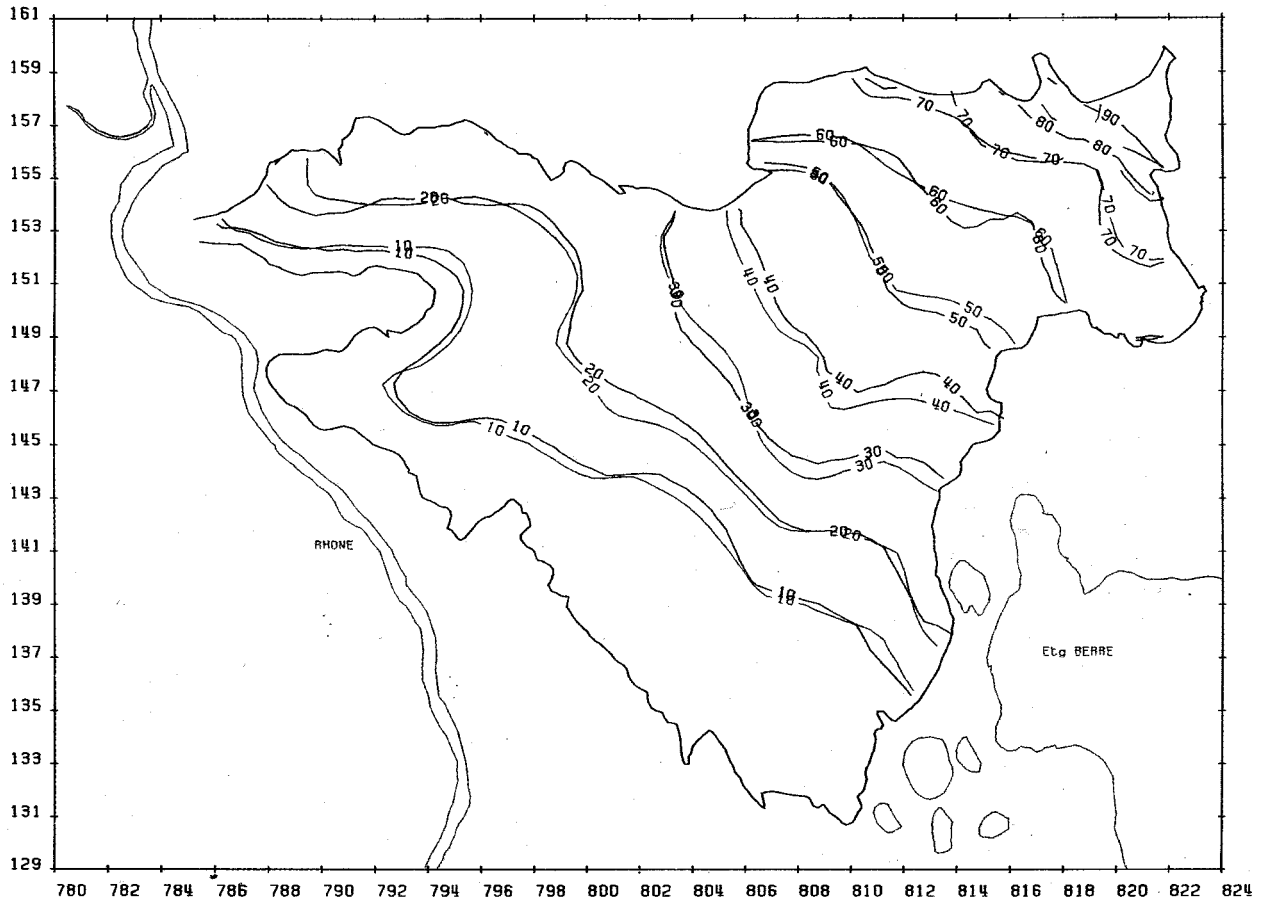


Fig. 48 : Régime permanent - charges simulées (vert) et observées en juillet 1982 (rouge)

à une piézométrie représentant un état moyen de la nappe. Ensuite, ou éventuellement directement, on effectue le calage en régime transitoire, c'est-à-dire que, toujours par modifications successives des données manquantes, on cherche à obtenir, sur une période déterminée, des variations piézométriques calculées aussi proches que possible des variations observées.

La phase de calage étant terminée, le modèle numérique est donc considéré comme **représentatif du comportement hydraulique** de la nappe. Il fournit en particulier, par le calcul, tous les éléments du **bilan hydraulique de la nappe**, soit pour un état moyen, soit sur une période déterminée.

On peut alors l'utiliser pour simuler tout autre scénario d'exploitation de la nappe, tel que la modification des débits de pom-

pages ou la mise en place de nouveaux pompages, ou tout autre scénario d'aménagement tel que la création ou la suppression de gravières, etc. On peut également simuler des événements naturels exceptionnels, tels que, par exemple, des pluies exceptionnelles ou au contraire des périodes de sécheresse.

En particulier les modèles sont fort utiles pour optimiser l'emplacement de futurs pompages, c'est-à-dire, par exemple, pouvoir pomper des mêmes débits supplémentaires avec le minimum de rabattement de la nappe en certaines zones, ou encore le minimum d'effet sur la rivière associée (figure 49).

Le modèle d'une nappe est évidemment d'autant plus fiable, que les données à l'aide

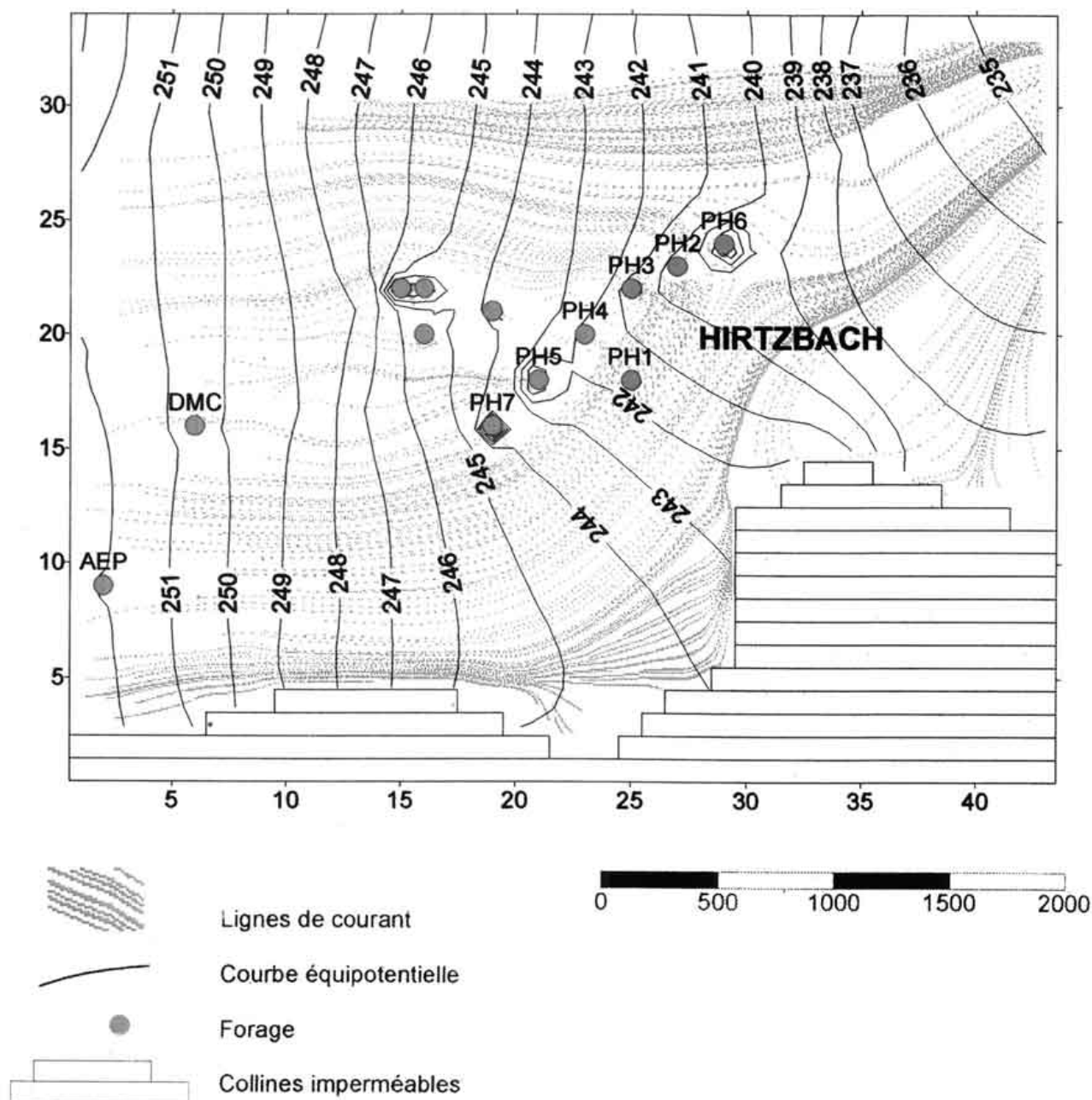


Fig. 49 : Étude sur modèle de captages futurs

desquelles il a été calé sont nombreuses et correctes.

Les modèles numériques constituent, à l'heure actuelle, les outils les plus efficaces pour la gestion des nappes, et en particulier celle des nappes alluviales. Leur utilisation ne dispense cependant pas d'un suivi serré et continu de la nappe par les mesures de terrain.

## Gestion au niveau du captage

Une bonne gestion de l'exploitation des nappes alluviales doit également s'exercer au niveau de l'ouvrage de captage.



## ● **Nouveaux forages**

Les forages d'exploitation, et en particulier ceux destinés à l'alimentation en eau potable, doivent être conçus de manière à optimiser leur productivité. Cela veut dire que les **caractéristiques techniques** du forage doivent être déterminées pour limiter au maximum les pertes de charge dues à son équipement. Ces pertes de charge créent en effet, au niveau du forage, un rabattement supplémentaire de la nappe qui augmente en particulier le coût de l'eau pompée.

Les caractéristiques du forage qui influent sur ces pertes de charge sont le diamètre des tubages et des crépines, l'ouverture des crépines et le calibre du gravier filtrant. La détermination de ses caractéristiques se fait en fonction de la granulométrie des alluvions, et en fonction des débits d'exploitation prévus.

Il est également très important, qu'en fin de réalisation, le forage soit correctement développé, c'est-à-dire que les terrains environnants soient purgés de toutes les particules fines telles qu'argiles et limons, qui créent un colmatage partiel et des pertes de charge supplémentaires. Le développement du forage est généralement réalisé par un surpompage de durée suffisamment longue, et éventuellement par l'injection de produits spéciaux tels qu'acides ou polyphosphates.

De même les boues de forage doivent être totalement éliminées du terrain, d'où l'utilisation indispensable de boues biodégradables lors de la foration.

Après la réalisation d'un nouveau forage d'exploitation, les **pompages d'essai** sont absolument indispensables afin de déterminer le **débit critique**, le **débit d'exploitation recommandé** en utilisation permanente, de même que le débit de pointe maximal possible.

Pour la réalisation des pompages d'essai, de même que pour le suivi ultérieur du fonctionnement du pompage, il est nécessaire que

le forage soit équipé d'un dispositif de mesure du niveau d'eau. De préférence ce dispositif, du type capteur de pression, permettra un enregistrement continu du niveau. Il est recommandé également qu'il soit doublé par l'installation d'un tubage de petit diamètre permettant des mesures manuelles de contrôle au moyen d'une sonde de mesure. La construction d'un piézomètre dans le voisinage du forage est, de même, fort souhaitable.

Les résultats des pompages d'essai permettront également de déterminer, en fonction des rabattements observés, les caractéristiques de la pompe et sa profondeur d'installation les mieux appropriées et les plus rentables.

## ● **Forages en exploitation**

Au cours de l'exploitation des forages, on s'efforcera de respecter, tout en essayant de satisfaire la demande, les **débits recommandés** définis par les pompages d'essai.

Les forages d'exploitation doivent être l'objet d'une **surveillance continue**. Le fonctionnement normal du pompage se vérifie par l'observation du débit en fonction du régime de la pompe, et par l'observation du rabattement en fonction du débit.

En plus de **contrôles systématiques annuels** (essais de débit, vérification des instruments de mesure), il est recommandé de procéder à une **inspection complète** du forage environ tous les trois ou quatre ans. La colonne de production et la pompe seront remontées à la surface pour une vérification complète de leur état. Le contrôle des tubages et des crépines pourra alors être effectué par la descente dans le forage d'une caméra vidéo, afin de déceler toute trace de corrosion ou d'incrustation éventuelles.

En plus des contrôles périodiques, cette inspection complète devra être effectuée en cas d'observation d'un **fonctionnement anormal** du pompage, tel qu'un rabattement

excessif non dû à un état naturel particulièrement bas de la nappe.

## Aspects réglementaires

La législation et la réglementation sur l'eau ont pour objectif principal la gestion et la protection des ressources en eau, dont les nappes alluviales font évidemment partie. De même la gestion et la protection des captages pour l'alimentation en eau potable sont guidées par la législation et la réglementation en vigueur.

Au niveau de la gestion quantitative, la loi sur l'eau (no. 92-3) du 3 janvier 1992 a introduit des outils novateurs de planification concertée des usages de l'eau : les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux, ou **SDAGE**, et les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, ou **SAGE**.

Les **SDAGE** fixent les orientations fondamentales de la gestion des ressources en eau et des milieux aquatiques au niveau de chacun des six grands bassins du territoire métropolitain. Ils sont élaborés par les Comités de Bassin.

Les **SAGE** s'exercent à une échelle locale qui correspond en général à un petit bassin ou à une unité hydrographique et socio-économique cohérente. Ils sont élaborés par une Commission Locale de l'Eau qui réunit les différents usagers de l'eau. Guidés par les orientations générales des SDAGE, ce sont les véritables projets de la gestion concertée et intégrée des ressources en eau et des milieux associés.

Un décret (n° 93-743 du 29 mars 1993) fixe les conditions concernant les prélèvements d'eau dans les trois cas suivants :

- **nappes d'eau souterraines,**
- **eaux superficielles,**
- **milieux aquatiques en général.**

### ● **Nappes d'eau souterraines**

Les prélèvements dans un système aquifère **autre qu'une nappe d'accompagnement** d'un cours d'eau sont soumis à :

- **autorisation**, si le débit prélevé est supérieur ou égal à 80 m<sup>3</sup>/h,
- **déclaration**, si le débit prélevé est supérieur à 8 m<sup>3</sup>/h, mais inférieur à 80 m<sup>3</sup>/h.

### ● **Eaux superficielles**

Les prélèvements, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, **dans sa nappe d'accompagnement** ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe sont soumis à :

- **autorisation**, si le débit prélevé est supérieur ou égal à 5% du débit de référence du cours d'eau,
- **déclaration**, si le débit prélevé est compris entre 2 et 5% du débit de référence du cours d'eau.

Le débit de référence du cours d'eau est défini comme le débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans.

Lorsque le débit du cours d'eau en période d'étiage résulte, pour plus de la moitié, d'une réalimentation artificielle, tout prélèvement est **soumis à autorisation**.

Toutefois, en ce qui concerne la Seine et la Loire il n'y a lieu à autorisation que lorsque la capacité du prélèvement est supérieure à **80 m<sup>3</sup>/h**.

### ● **Milieux aquatiques en général**

Tous les prélèvements d'eau dans une zone où existent des mesures permanentes de répartition quantitative sont soumis à :

- **autorisation**, si la capacité est supérieure ou égale à 8 m<sup>3</sup>/h,
- **déclaration**, dans les autres cas.

Mis à part les cas particuliers des cours d'eau artificiellement réalimentés pour soutien d'étiage, et des zones à mesures permanentes de répartition quantitative qui donnent lieu à un abaissement des seuils, il existe donc **deux cadres réglementaires bien distincts** pour ce qui concerne les prélèvements d'eaux souterraines suivant qu'ils sont effectués dans une nappe d'accompagnement ou non.

Pour ce qui concerne les **nappes alluviales**, la référence à l'un ou l'autre de ces cadres réglementaires passe donc d'abord par la **définition et la délimitation de la nappe d'accompagnement** qui ne coïncide pas forcément dans sa totalité avec la nappe alluviale. Enfin la réglementation existante pourrait être prochainement révisée pour le cas des nappes associées aux cours d'eau à gros débits.

Par ailleurs, le décret n° 92-1041 du 24 septembre 1992 demande que soient définies les **zones d'alerte** correspondant à une unité hydrographique cohérente dans lesquelles des mesures spécifiques de limitation des usages de l'eau sont prescrites en cas de dépassement de certains seuils.

En période de **pénurie d'eau**, afin de respecter les intérêts des différents usagers et de préserver les écosystèmes aquatiques, des débits minimum doivent être conservés dans les cours d'eau. Les **mesures de limitation des prélèvements d'eau** doivent toucher à la fois les prélèvements directs dans le cours d'eau concerné et les prélèvements dans les nappes d'eau souterraines en connexion hydraulique avec celui-ci, c'est-à-dire dans les nappes d'accompagnement des cours d'eau au sens du décret n° 93-743.

Les zones d'alerte doivent différencier les cours d'eau et leurs nappes d'accompagnement, d'une part, et les zones plus éloignées

où les prélèvements en nappe pourront être limités selon des modalités différentes en général moins restrictives, d'autre part.

Lorsqu'un nouveau prélèvement est soumis à autorisation, le dossier de demande, adressé au préfet du département, doit être accompagné **d'un document d'incidence**.

Ce document doit indiquer, compte tenu des variations saisonnières et climatiques, les incidences de la construction de l'ouvrage de captage et du prélèvement sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux. Il doit préciser également les mesures compensatoires ou correctives envisagées, et la compatibilité du projet avec le SDAGE ou le SAGE.

Pour ce qui concerne les **captages pour l'alimentation en eau potable**, la réglementation en vigueur est plus complexe. Elle est complétée par la procédure de mise en place des **périmètres de protection**, dans laquelle sont définis les rôles des collectivités, ceux de l'administration et celui de l'hydrogéologue agréé. La procédure de mise en place des périmètres de protection est complexe et comporte les phases suivantes :

- les démarches et études préliminaires,
- le dossier de déclaration d'utilité publique,
- l'enquête publique,
- la mise en œuvre.

A différents niveaux, il peut être fait appel à des bureaux d'étude pour établir par exemple le dossier d'études préliminaires, ou l'étude du contexte hydrogéologique et des caractéristiques du captage. Les services techniques du Conseil Général peuvent également intervenir directement. De nombreux départements ont établi, en effet, leur Schéma Départemental d'Adduction en Eau Potable, ou **SDAEP**.

Si les documents disponibles sont insuffisants, l'hydrogéologue agréé peut prescrire des études complémentaires. Dans ce cas,

c'est au maître de l'ouvrage à faire réaliser ces études.

Deux périmètres de protection doivent être obligatoirement définis : l'immédiat et le rapproché. Un troisième, le périmètre de protection éloignée, est facultatif.

**Le périmètre de protection immédiate** est en général défini sur un rayon d'une ou deux dizaines de mètres autour du captage. Toute activité autre que celles liées au pompage de l'eau et à l'entretien de l'ouvrage y est interdite.

**Le périmètre de protection rapprochée** est de dimension variable (de un à quelques

hectares, dans la majorité des cas). Il est défini en fonction des débits de pompage prévus et des caractéristiques de l'aquifère et du bassin versant.

**Un périmètre de protection éloignée** peut prolonger éventuellement le précédent pour renforcer la protection contre les pollutions permanentes ou diffuses.

Au niveau de la gestion quantitative, la **réalisation d'autres ouvrages de captage** peut être **interdite** ou **réglementée** à l'intérieur du **périmètre de protection rapprochée**, et peut être **réglementée** à l'intérieur du **périmètre de protection éloignée**.

## Gestion de la qualité de l'eau

### Gestion préventive

Au sein des nappes, les conséquences d'une pollution ne sont visibles généralement qu'après un certain temps qui dépend de la vitesse de circulation de l'eau dans le réservoir. Inversement, le temps de renouvellement de l'eau entraîne des délais importants pour la restauration de la qualité initiale. Ces délais peuvent se chiffrer en années, voire en décennies.

Compte tenu de cette inertie de comportement de la nappe, il est important d'intervenir le plus tôt possible avant une situation d'impossibilité d'exploiter la ressource pendant une longue durée. Ceci implique une gestion raisonnée de l'implantation des captages dans le milieu alluvial, de même que la mise en place de mesures de protection de ces captages.

Il est tout aussi important d'identifier les risques d'accident susceptible de provoquer une pollution de la ressource exploitée, afin de pouvoir mesurer l'efficacité de différents moyens d'intervention, avant leur mise en œuvre le cas échéant.

Il convient donc de distinguer deux types de pollution : celles qui résultent de sources ponctuelles facilement localisables et celles qui résultent de contaminations latentes et diffuses, sur lesquelles les interventions sont beaucoup plus difficiles à évaluer.

#### ● **Implantation des ouvrages**

L'implantation correcte des ouvrages de captage conditionne en grande partie le maintien de la qualité de l'eau.

Tout en tenant compte des zones les plus favorables à la productivité, les captages

seront implantés le plus loin possible des **sources de pollution éventuelle**. Le sens d'écoulement de la nappe étant généralement connu, les forages seront situés de préférence en amont de ces sites à risque, et si possible également en amont topographique de ceux-ci, afin d'éviter également une contamination possible par la surface et les eaux de ruissellement.

En particulier, lorsque les eaux de surface associées à la nappe alluviale (cours d'eau, plans d'eau, gravières) sont de qualité médiocre ou susceptibles de pollution accidentelle ou diffuse, on implantera les ouvrages de captage à une certaine distance de celles-ci. Cette distance minimale peut se déterminer en fonction du débit d'exploitation et des caractéristiques hydrodynamiques des alluvions.

De même, dans le cas des **nappes alluviales littorales**, on déterminera, une distance minimale du forage à la côte pour que le pom-

page de limons ou argiles, qui assurent donc une protection naturelle contre les pollutions par la surface du sol.

### ● **Protection de la ressource et des ouvrages de captage**

La protection de la ressource en eau potable se fait à plusieurs niveaux :

- celui de l'ouvrage de captage,
- celui des périmètres de protection,
- celui de la totalité de la formation aquifère.

Dans les nappes alluviales les ouvrages de captage sont généralement des forages. Au niveau du forage et de son équipement, la gestion de la qualité de l'eau commence par la réalisation de l'ouvrage par des professionnels et selon les règles de l'art.

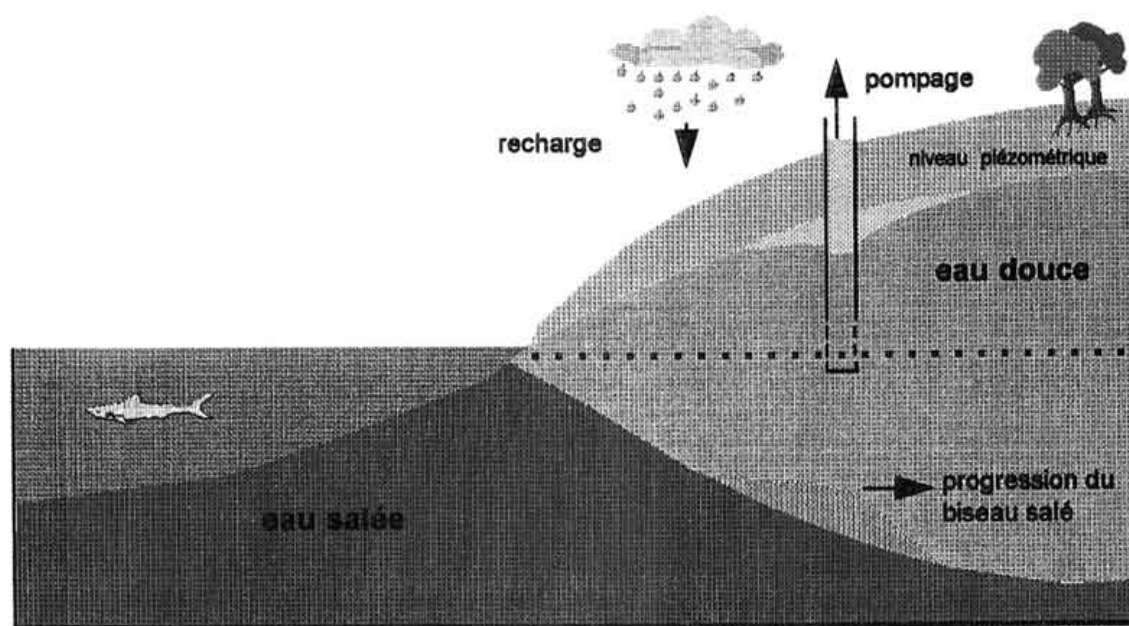


Fig. 50 : Le biseau salé dans les aquifères littoraux

page ne provoque pas une intrusion de l'eau salée marine (figure 50).

Par ailleurs, on choisira en priorité les zones où la nappe alluviale bénéficie d'une **couverture imperméable** (ou peu perméable)

La **bonne exécution** d'un forage implique :

- une conception et des spécifications techniques tenant compte de l'environnement géologique et hydrogéologique, et clairement définies dans un cahier des charges.

- un contrôle du matériel et des fournitures : tubages, crépines, ciment, gravier filtrant, tête de puits, pompe, etc.
- un contrôle pendant la foration : installations de surface, stockages de fuel, huiles, acides, etc. verticalité du forage, contrôle des boues, mise en place des tubages, cimentation, mise en place des crépines et du gravier filtrant, étanchéité de la tête de puits.

L'ensemble de ces dispositions devront donc être prises de manière à éviter, pendant et après la foration, toute contamination bactériologique ou chimique de la ressource par la surface ou par le sous-sol.

Dans le même but, la **maintenance du forage** tout au cours de son utilisation devra être assurée par des contrôles périodiques de son équipement.

J.M. THOMAS

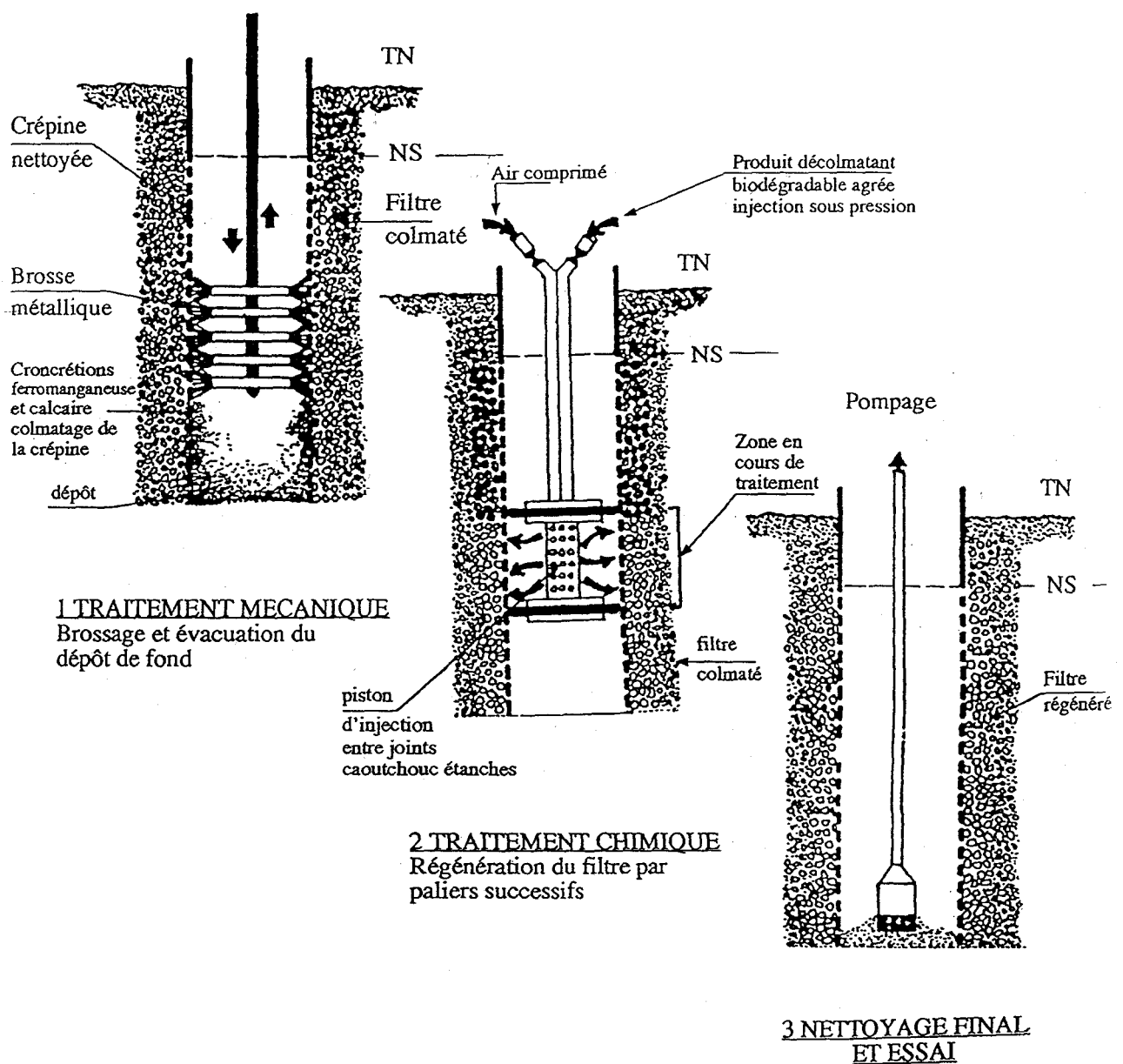


Fig. 51 : Principe de régénération des puits

On veillera également à ne pas contaminer la ressource en eau lors des **opérations d'entretien**, telles que le brossage, le curage, le pistonnage ou le décolmatage par injection d'acides ou de polyphosphates, ou encore lors des **opérations de réhabilitation**, telles que le remplacement des crépines ou des tubages (figure 51).

Enfin lors de l'**abandon définitif** d'un forage, celui-ci devra faire l'objet de remplissage, de cimentation et d'obturation complète, de manière à ne pas constituer pour la nappe un site d'introduction possible de pollution.

### ● **Périmètres de protection**

Le maintien de la qualité de la ressource en eau est l'objectif principal de la réglementation qui prévoit, en particulier autour des ouvrages de captage, la définition des trois périmètres de protection mentionnés précédemment.

Le **périmètre de protection immédiate** (obligatoire) doit être clôturé et interdit à toute activité autre que celle du pompage de l'eau et de la maintenance de l'ouvrage. Il est établi afin d'éviter toute pollution directe par la surface du sol et au niveau de la tête de puits.

Le **périmètre de protection rapprochée** (obligatoire) doit protéger de manière efficace le captage contre la migration souterraine de substances polluantes. La détermination de ses limites est basée sur la prise en compte d'un temps de transfert de 50 jours, qui est considéré soit comme suffisant pour assurer une filtration et une élimination de la substance polluante, soit comme suffisant pour permettre la mise en place de mesures précises de protection. Le calcul des distances, correspondant à ce temps de transfert, implique la connaissance des débits de pompage et des caractéristiques hydrodynamiques de la formation aquifère. A l'intérieur de ce périmètre sont interdites toutes les activités, installations et dépôts susceptibles d'entraîner

une pollution de nature à rendre l'eau impropre à la consommation humaine. Les autres activités, installations et dépôts peuvent être réglementés.

Le **périmètre de protection éloignée** (facultatif) a pour but de renforcer le précédent en particulier vis-à-vis des pollutions permanentes ou diffuses. Les activités, installations et dépôts peuvent y être réglementés.

L'article 13.1 de la loi n° 92-2 du 3 janvier 1992 sur l'eau, a fixé à 5 ans (c'est-à-dire à échéance du 3 janvier 1997) le délai pour déterminer des périmètres de protection partout où une protection naturelle est insuffisante pour assurer efficacement la qualité des eaux.

### ● **Autres aspects réglementaires**

Dans l'esprit de la loi sur l'eau de 1992, la protection de la qualité de la ressource en eau est un souci constant non seulement au niveau de la ressource consommable, mais également au niveau de l'ensemble de l'écosystème aquatique.

L'obligation d'assainissement des communes a été également introduite dans cette loi.

Certaines activités agricoles sont également régies par des textes législatifs et réglementaires, dans le but de lutter contre les pollutions diffuses. Celles-ci concernent principalement les nitrates, mais également les phytosanitaires, les pesticides et les phosphates provenant de zones d'élevage intensif.

### ● **Suivis et contrôles**

Un suivi de qualité générale de l'eau souterraine, dans le temps et dans l'espace, est indispensable pour détecter les moindres signes de détérioration, et en comprendre les causes. Un tel suivi peut être effectué en réalisant des analyses de contrôle sur des échan-

tillons de l'eau de la nappe, prélevés avec une fréquence régulière sur une partie des puits, forages, piézomètres et sources en relation avec cette nappe.

Deux types de suivis peuvent être distingués :

- un suivi de qualité générale, qui couvre l'aquifère dans son ensemble,
- un suivi plus spécifique à vocation de surveillance autour de sites présentant des risques identifiés.

Le suivi général des points de captage AEP est assuré par les Directions Départementales de l'Action Sanitaire et Sociale (DDASS). Les paramètres classiques de qualité générale de l'eau sont mesurés. Les données sont ensuite gérées par l'Observatoire National de la Qualité des Eaux Souterraines (ONQES).

Les sites à risques sont par exemple les sites de stockage et les sites industriels. Dans ce type d'environnement, des analyses spécifiques doivent être définies et effectuées. Ces analyses ou certains autres contrôles spécifiques peuvent être imposés par les Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE).

## ● Cartographie multicritère

La notion de vulnérabilité, fait intervenir des critères très variés ayant trait aux caractéristiques du milieu, à l'occupation des sols, à la nature des activités (urbaines, agricoles et industrielles), à la nature des rejets, aux propriétés du sol qui peuvent être spécifiques à un type de polluant, au degré d'exploitation, etc. La liste des critères à prendre en compte, liée à la représentation des risques de pollution, n'est pas figée, elle peut évoluer en fonction des activités, de la configuration générale des sites cartographiés et du type de pollution vis-à-vis duquel le risque est évalué. Ainsi, les propriétés caractéristiques des formations de couverture n'auront pas la même influence, vis-à-vis du contaminant selon qu'il s'agit d'hydrocarbure, de détergent ou de métaux lourds.

Le développement des outils de cartographie assistée par ordinateur, permet d'établir des documents synthétiques par combinaison entre régionalisations de plusieurs paramètres. Ce type d'outil fournit une représentation qui peut être remise à jour et évoluer en fonction des nouvelles actions sur l'environnement, et du type de pollution pris en considération.

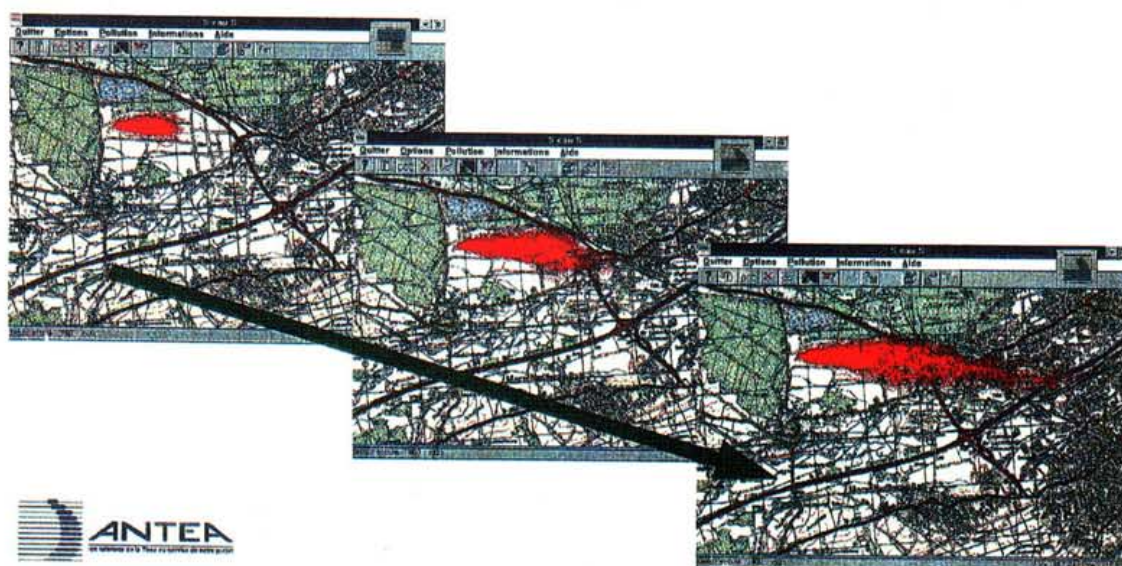


Fig. 52 : Aide à la décision en cas de pollution accidentelle des eaux souterraines



## ● **Modèles numériques**

La modélisation numérique permet de simuler la propagation de polluants dans les eaux souterraines, et apporte des éléments de réponse à des problèmes variés : pollution ponctuelle, pollution diffuse, phénomène transitoire, phénomène permanent.

Ils constituent des outils de calcul (trajectoire, temps d'arrivée, impact d'une pollution) ayant pour ambition la prévision et représentent ainsi une aide précieuse à la gestion de la qualité des eaux souterraines.

Il existe de nombreux modèles informatiques adaptés à des échelles, des contextes géologiques et des objectifs variés.

Par exemple S.EAU.S, développé par le BRGM est un logiciel d'aide au diagnostic qui permet d'estimer la vulnérabilité de points d'eau exploités. En cas de pollution accidentelle, le calcul de trajectoires et de temps de propagation peut guider le gestionnaire dans la définition des mesures d'interception à adopter et du délai d'intervention dont il dispose (figure 52).

Le modèle SESAME et le modèle MARTHE développés également par le BRGM, sont utilisés pour l'étude de la migration de polluant dans les aquifères. Ils peuvent s'appliquer à des situations complexes : plusieurs couches, écoulements tridimensionnels, phénomènes de dégradation du polluant, etc. (figure 53).

La mise en œuvre de tels outils nécessite l'acquisition de données sur les caractéristiques intrinsèques du milieu, la géométrie de l'aquifère, les conditions climatiques et une bonne connaissance préalable du fonctionnement hydrogéologique du système modélisé. La précision des résultats obtenus dépend directement du degré de précision avec lequel le système peut être décrit par ces différents éléments.

Les réponses quantitatives obtenues à l'aide de ce type d'outils doivent donc être exploitées avec circonspection. L'acquisition de données en grand nombre et de façon systématique présente un coût prohibitif, et, par conséquent, les résultats de simulation sont le plus souvent entachés d'une certaine incertitude qu'il convient de savoir apprécier. Elle résulte de la complexité et de la multiplicité des interactions biogéochimiques du milieu naturel et de la connaissance très fragmentaire que l'on a de la variabilité spatiale des propriétés hydrodynamiques et hydrochimiques du milieu.

Toutefois les modèles constituent un outil précieux d'aide à la décision. Par exemple ils permettent de comparer l'efficacité relative de plusieurs scénarios différents pour faire barrage à la propagation d'une pollution, ou d'évaluer l'impact du régime d'exploitation d'ouvrages de captage, ou de prévoir les variations induites par la modification de tel ou tel facteur impliqué dans le processus de transport.

## **Gestion en période de crise**

### ● **Plans d'alerte**

Dans le cas où une pollution est détectée, les interventions peuvent se faire à deux niveaux : par le jeu des captages AEP en exploitation, ou par intervention directe sur l'aquifère pollué.

### ● **Interventions sur les captages AEP en exploitation**

En cas de contamination d'une nappe, on cherche en premier lieu à minimiser la propagation de cette pollution, en intervenant sur les débits de pompage.

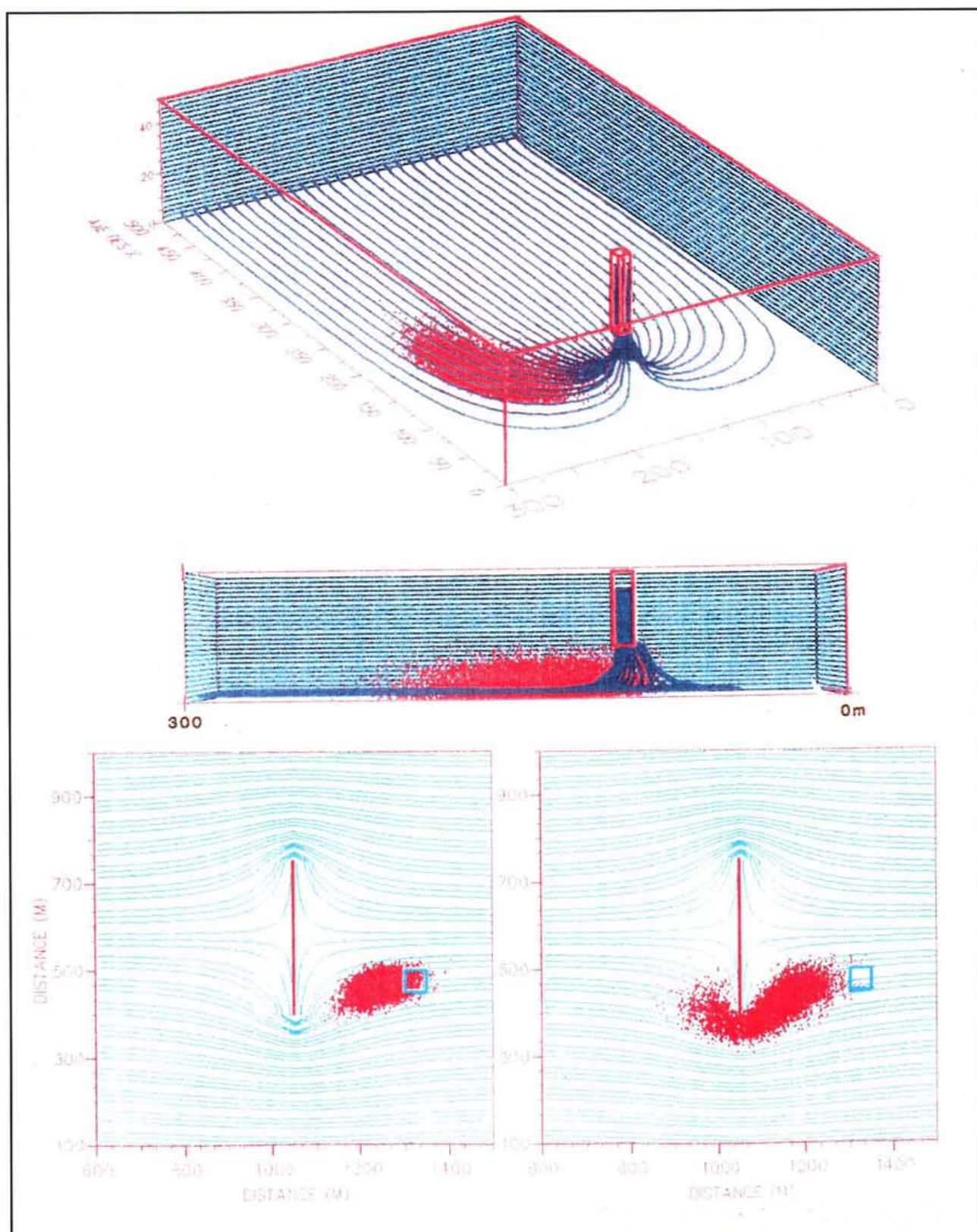


Fig. 53 : Migration d'un polluant vers un forage

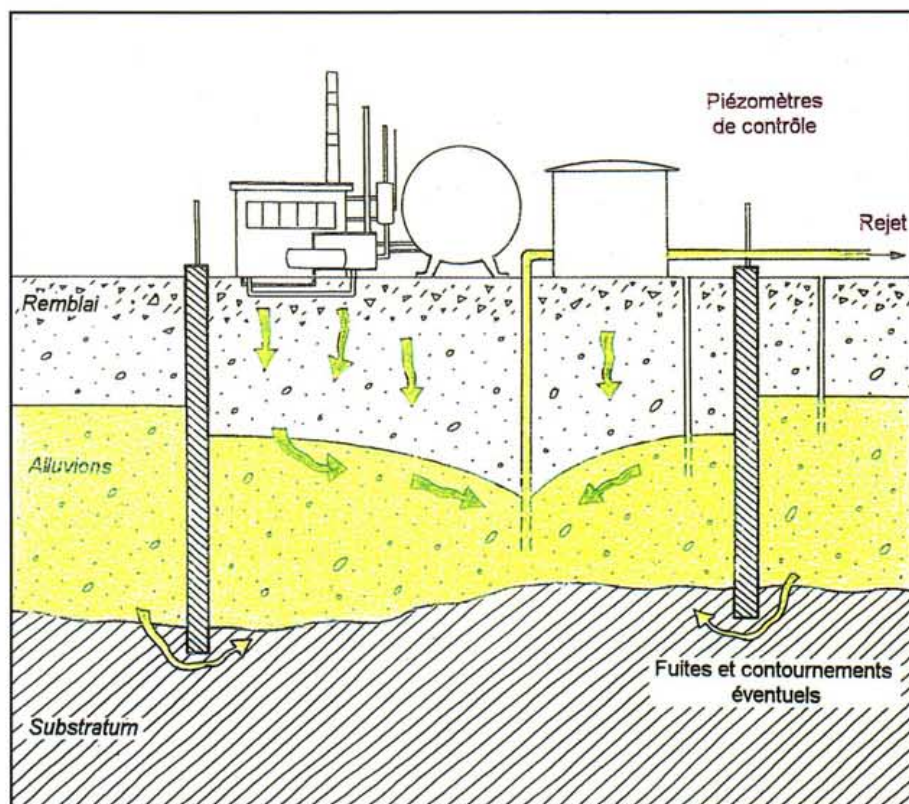


Fig. 54 : Confinement de pollution industrielle

Cette intervention pourra se traduire suivant les cas :

- soit par l'arrêt complet du pompage dans un ou plusieurs ouvrages menacés,
- soit par une diminution du débit sur un ou plusieurs ouvrages, de manière à freiner la propagation de la pollution vers ces ouvrages,
- soit, au contraire, ou en mesure complémentaire, par une augmentation du débit sur un ou plusieurs ouvrages, de manière à fixer, et ensuite éliminer la pollution au niveau de ces sites.

Pour la pérennité de l'alimentation en eau potable, il est recommandé de prévoir des captages de substitution, faisant appel à des ressources indépendantes.

### ● Moyens d'intervention sur l'aquifère pollué

Les moyens d'interventions sur la nappe sont multiples et dépendent bien entendu du contexte du site pollué et de l'extension de la pollution. Citons pour exemples :

**Le barrage hydraulique :** cette technique consiste à créer une dépression au toit de la nappe, par l'implantation ou la mise en service, d'ouvrage de pompage. Ainsi une grande partie de la pollution converge vers cette dépression, et les substances polluantes peuvent ensuite être extraites du milieu souterrain par le pompage (figure 54).

**Traitement de l'eau :** des dispositifs de traitement de l'eau peuvent être mis en œuvre soit par injection directe d'un réactif susceptible de transformer la substance polluante, soit par

pompage de l'eau polluée et traitement en surface à l'aide d'un dispositif dont la complexité peut aller d'un simple bassin d'oxygénation à une usine de traitement faisant intervenir des réactions complexes (figure 55, figures 56).

**Recharge artificielle et auto épuration :** dans le cas où les propriétés autoépuratrices naturelles du sous-sol sont bien connues,

celles-ci peuvent être mises à profit dans le cadre d'un processus de pompage et de réinjection. La circulation des eaux contaminées est ainsi "forcée" vers les zones où le réacteur naturel présente des propriétés optimales.

Il existe aussi des traitements correctifs qui peuvent être appliqués entre le pompage et la distribution, par dilution des eaux contaminées, ou par traitement en station.



Fig. 55 : Liaison A6-A40  
Diffuseur  
de Macon centre  
(photo SAPRR)

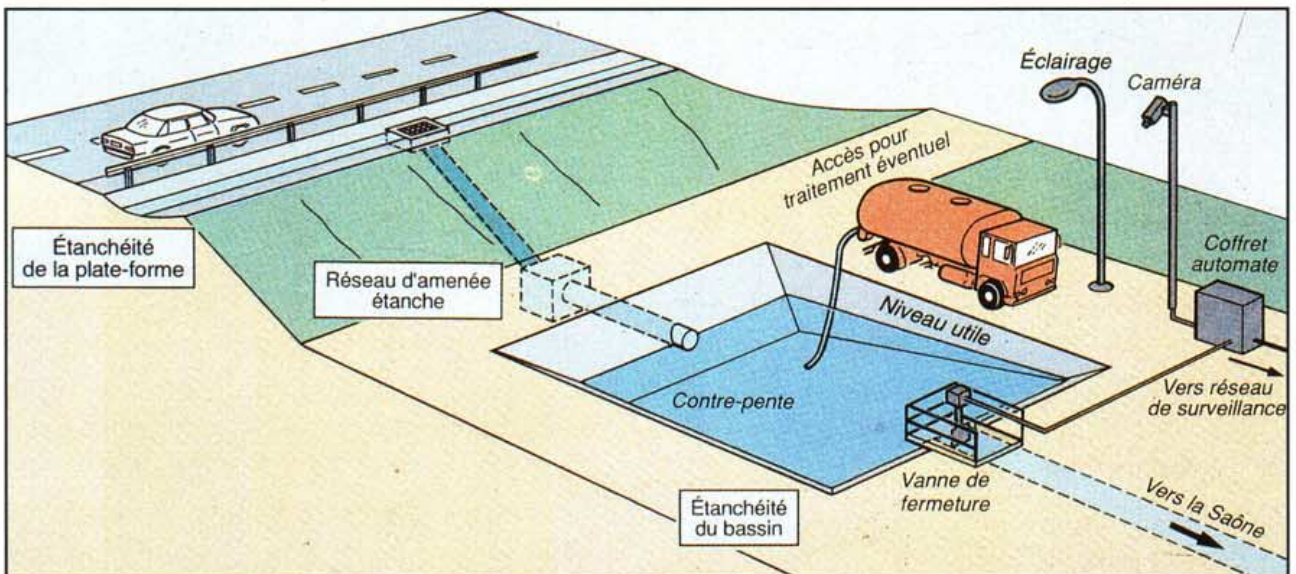


Fig. 56 : Plan type d'un bassin  
de traitement  
(photo SAPRR)

La gestion et  
la protection  
des nappes  
alluviales et  
des captages  
AEP

# Lexique

(en grande partie, extrait ou inspiré du **Dictionnaire français** d'hydrogéologie de **G. Castany** et **J. Margat**)

**Aquifère** (adj.) : qui contient de l'eau en partie mobilisable par gravité, conducteur d'eau.

**Diffusivité** (hydraulique) : quotient de la transmissivité par le coefficient d'emmagasinement.

**Perméabilité** : aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient de charge hydraulique. Pour l'eau elle s'exprime quantitativement par le coefficient de Darcy, qui a la dimension d'une vitesse (m/s).

**Transmissivité** : produit de la perméabilité par la puissance (épaisseur) de la zone saturée. Elle s'exprime généralement en m<sup>2</sup>/s.

**Coefficient d'emmagasinement** (sans dimension) : volume d'eau libérée par un prisme vertical de terrain aquifère, par section unité (1 m<sup>2</sup>) et par baisse de pression unité (1 m).

**Porosité** (totale) : rapport du volume des vides au volume total d'un milieu.

**Porosité efficace** : rapport du volume d'eau, qu'un milieu saturé peut libérer par gravité, à son volume total.

**Adsorption** : fixation de molécules d'un fluide (eau, gaz) ou d'ions d'un soluté, par attraction moléculaire, à la surface des éléments solides d'un milieu poreux.

**Désorption** : phénomène inverse de l'adsorption.

**Sorption** : ensemble des phénomènes d'adsorption et d'absorption.

**Absorption** (chimique) : fixation, au sein d'un milieu, d'une molécule ou d'un ion, par réaction chimique (échange) avec ce milieu.

**Tubage** : colonne de tubes mis en place dans un forage.

**Crépine** : tube dont la paroi est percée d'ouvertures de formes diverses, disposées régulièrement, à travers lesquelles l'eau de l'aquifère pénètre dans un puits.

**Gravier filtrant** (ou massif filtrant) : ensemble du matériau meuble formé d'éléments calibrés (graviers, granulats), disposé dans l'espace annulaire compris entre la partie crépinée du tubage et les parois du puits pour empêcher l'ensablement et le colmatage.

**Piézomètre** : forage (en général de petit diamètre) construit et équipé pour la mesure du niveau d'eau (niveau piézométrique) dans une nappe souterraine.

**Diagraphies** (de forage) : ensemble des techniques permettant l'auscultation d'un forage et des formations encaissantes (enregistrement de propriétés physiques), en y descendant des instruments de mesure ou d'observation spécifiques (sondes, caméra, etc.).

## *Abréviations*

**AEP** : Alimentation en Eau Potable  
**SDAGE** : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux  
**SAGE** : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux  
**DDASS** : Direction Départementale de l'Action Sanitaire et Sociale

**DRIRE** : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement  
**SDAEP** : Schéma Départemental d'Alimentation en Eau Potable  
**ONQES** : Observatoire National de la Qualité des Eaux Souterraines

## *Liste des principaux textes législatifs et réglementaires*

**Loi du 16 décembre 1964** (n° 64-1245, JO 18/12/64, rectificatifs JO 15/01/65 et JO 6/02/65), relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution. Elle définit les trois périmètres de protection.

- **Loi du 19 juillet 1976** (n° 76-663), relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

- **Décret n° 89-3 du 3 janvier 1989**, relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles (JO 4/01/1989).

- **Circulaire du 24 juillet 1990** (JO 13/09/90), précisant les responsabilités des collectivités locales et de l'administration. Elle prend en compte les textes européens.

- **Loi sur l'eau du 3 janvier 1992** (n° 92-3, JO 4/01/92). Elle rénove la réglementation, et la notion de gestion et de protection des eaux : introduction des SDAGE et SAGE, gestion des situations de crise, rôle de l'Etat et des collectivités, lutte contre les pollutions diffuses.

- **Décret n° 92-1041 du 24 septembre 1992**, portant application de l'article 9-1 de la loi sur l'eau du **3 janvier 1992**, et relatif à la définition des zones d'alerte.

- **Décret n° 93-743 du 29 mars 1993**, relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 (JO 30/03/93).

- **Arrêté du 31 août 1993** (JO 9/10/93), indiquant les modalités de désignation et de consultation des hydrogéologues agréés.

- **Décret n° 95-88 du 27 janvier 1995** (JO 28/01/95), portant application de la loi sur l'eau de 1992 et de la loi paysages du 8 janvier 1993 : aménagement foncier et loi sur l'eau.

- **Décret n° 95-363 du 5 avril 1995** (JO 7/04/95), renforçant les obligations dans le périmètre de protection immédiate.

## Liste des documents techniques FNDAE

N° 1 - L'exploitation des lagunages naturels	1985
N°2 - Définition et caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection	1986
N°3 - Manuel pratique pour le renforcement et l'étanchéité des réservoirs d'eau potable	1986
N°4 - Plan de secours pour l'alimentation en eau potable	1986
N°5 - Les stations d'épuration adaptées aux petites collectivités	1986
N°5 Bis - Station d'épuration - dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation	1992
N°6 - Les bassins d'orages sur les réseaux d'assainissement	1988
N°7 - Le génie civil des bassins de lagunage naturel	1990
N°8 - Guide technique sur le foisonnement des boues activées	1990
N°9 - Les systèmes de traitement des boues des petites collectivités	1990
N°10 - Élimination de l'azote dans les stations d'épuration biologiques des petites collectivités	1990
N°11 - L'eau potable en zone rurale : adaptation et modernisation des filières de traitement	1992
N°12 - Application de l'énergie photovoltaïque à l'alimentation en eau potable des zones rurales	épuisé
N°13 - Lutte contre les odeurs des stations d'épuration	épuisé
N°14 - Les procédés à membrane en traitement d'eau potable	1995
N°15 - Le financement du renouvellement des réseaux d'alimentation en eau potable	épuisé
N°16 - La gestion collective de l'assainissement autonome	1993
N°17 - Les nouvelles techniques de transport d'effluent	1995
N°18 - La décantation lamellaire des boues activées	1994
N°19 - Guide sur la gestion et la protection des captages d'eau potable dans les nappes alluviales	1997
Documents hors série	
HS3 - Réseaux d'assainissement urbain : guide technique pour la réalisation d'épreuve à l'eau	1992
HS4 - Élimination des nitrates des eaux potables	1992
HS6 - Consommation domestique et prix de l'eau. Évolution en France de 1975 à 1990	1992
HS7 - Situation de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement des communes rurales en 1990, complément : les départements d'Outre-Mer	1993
HS8 - L'épuration par biofiltration	non disponible
HS9 - Les pollutions accidentelles	1995
HS10 - Le renouvellement des réseaux d'eau potable	1994

L'ensemble de ces documents est disponible au :

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche - Bureau des Infrastructures Rurales

19, Avenue du Maine - 75732 PARIS CEDEX 15

Téléphone : 01 49 55 54 61 - Télécopie : 01 49 55 5 62

Des résumés et des informations complémentaires sont consultables sur le 3614 DERF SDDR\*BIR

# *Notes*

**Impression BRGM**  
Service cartographie  
D.L. 1<sup>re</sup> éd. : juin 1997  
Dépôt légal : janvier 1999





