

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

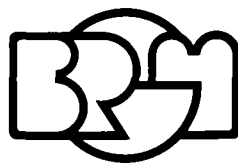
HYDROGÉOLOGIE ET AMÉNAGEMENT DES EAUX

- **L'AMÉNAGEMENT DES EAUX - Notes introductives.**

par A. ERHARD-CASSEGRAIN et J. MARGAT

- **LES CONTRIBUTIONS DE L'HYDROGÉOLOGUE A L'ÉLABORATION DE SCHÉMAS D'AMÉNAGEMENT DES EAUX.**

par J. MARGAT



Département hydrogéologie

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

79 SGN 782 HYD

Novembre 1979

RESUME

A l'appui des contributions des hydrogéologues à l'élaboration des *schémas régionaux d'aménagement des eaux*, notamment en France, cet abrégé :

- rappelle quelques notions de base sur l'aménagement des eaux, la définition de ressource à prendre en compte et les particularités des eaux souterraines de ce point de vue ;
- précise les objets et les modalités des interventions qui sont de la compétence des hydrogéologues pour participer à l'élaboration des schémas : évaluation de la ressource en eau souterraine et des conditions d'utilisation des eaux souterraines intégrées dans la confrontation générale ressource/demande.

INTRODUCTION

La généralisation des travaux d'élaboration des schémas régionaux d'aménagement des eaux en France, en application des directives du C.I.A.N.E. * du 14 février 1978, appelle le concours des divers spécialistes de l'eau : en évaluation, mobilisation et protection de la ressource, en utilisation et économie des eaux.

Les hydrogéologues ont parmi eux un rôle à jouer, en particulier ceux qui sont chargés de mission de service public telle que celle confiée en France au B.R.G.M./S.G.N. ("Evaluation des ressources hydrauliques" et "Aménagement et gestion des ressources en eau souterraine").

Il convient donc que les hydrogéologues soient en mesure de contribuer efficacement à ces travaux en adaptant le mieux possible leurs connaissances aux besoins d'information des concepteurs des schémas d'aménagement, et en participant aux groupes interdisciplinaires chargés de les élaborer. Il convient aussi que leurs partenaires sachent quelles contributions ils sont en droit d'attendre des spécialistes des eaux souterraines... et des eaux souterraines elles-mêmes.

Pour ce faire, il appartient d'abord aux hydrogéologues de bien comprendre la teneur et les objectifs des schémas d'aménagement des eaux, et de situer clairement la place des eaux souterraines dans le cadre plus large de l'aménagement des eaux, puis de concevoir complètement leur contribution.

Apporter un éclairage général à ce sujet, puis formuler les indications opérationnelles précises sur les actions à entreprendre sont les buts de cet abrégé, qui dérive des documents élaborés pour les sessions internes de formation continue sur ce thème, organisées par le Département d'hydrogéologie en 1979**.

Conçu principalement à l'attention des hydrogéologues, cet abrégé peut néanmoins intéresser aussi les spécialistes (hydrologues, hydrauliciens, projeteurs d'équipement, économistes, techniciens de la distribution et de l'utilisation des eaux, fonctionnaires exerçant des attributions de police des eaux,...) avec lesquels ils sont amenés à coopérer.

Motivé par le développement actuel des travaux d'élaboration de schémas d'aménagement des eaux en France, il n'est cependant pas spécifique des conditions physiques, économiques ou administratives françaises et il peut aussi guider des actions similaires en d'autres pays.

NOTA : Les progrès des réflexions et des échanges en économie de l'eau ont fait évoluer les conceptions et la terminologie par rapport à des publications antérieures relatives à l'évaluation et à la gestion des ressources en eau souterraine (cf. notamment les travaux du Colloque de Nice 1977, tels que "Des ressources en eau souterraine potentielles aux ressources exploitables" (J.M.).

* Comité interministériel d'action pour la nature et l'environnement

** Sessions 6-8 juin 1979 à Orléans ; Réunion annuelle des hydrogéologues, 27 septembre 1979 à Clermont-Ferrand.

1ère PARTIE

L'AMENAGEMENT DES EAUX

Notes introductives

par A. ERHARD-CASSEGRAIN et J. MARGAT

SOMMAIRE

1. De la notion d'aménagement des eaux.
2. Aménagement et planification.
3. Schéma d'aménagement des eaux : contenu et objectif.
4. Modalités d'élaboration d'un schéma d'aménagement.
5. Place de l'évaluation de la ressource en eau.
6. Notions de ressource en eau.
7. Remarques sur les aspects propres aux eaux souterraines en matière d'aménagement des eaux.

ANNEXE : - Système d'utilisation de l'eau

1. DE LA NOTION D'AMENAGEMENT DES EAUX

L'aménagement des eaux consiste à transformer la structure et le régime des eaux dans le milieu naturel et dans le milieu humain (utilisation des eaux) en ayant pour objectif l'adéquation, l'adaptation mutuelle :

- de la ressource : potentiel d'offre, à la fois de prélèvements d'eau dans le milieu, et d'évacuation et assimilation par le milieu des eaux usées restituées,
 - et des demandes sollicitant le milieu naturel (prélèvements, restitutions, et utilisations in situ) pour satisfaire les objectifs de divers acteurs économiques.
- . Cet objectif de l'aménagement des eaux doit être subordonné aux finalités plus générales de développement économique et d'aménagement du territoire ; l'aménagement des eaux pouvant constituer lui-même en retour un élément plus ou moins structurant de l'aménagement du territoire.
- . Par les effets structurants qu'il vise l'aménagement des eaux se conçoit :
- en s'appliquant à la fois à un *système de ressource* et au *système d'utilisation* correspondant ;
 - dans une perspective à long terme.
- . L'aménagement -de la ressource comme des demandes- n'est donc concevable et réalisable qu'à une échelle appropriée ;
- dans l'espace : domaine dans lequel la confrontation entre ressource et demandes a un sens et où les interventions sur les unes et les autres peuvent être coordonnées.
Sa définition devra concilier le champ spatial du système physique de ressource (bassin ou sous-bassin, système(s) aquifère(s)) et celui d'un système d'utilisation lié à une communauté économique et institutionnelle (exemple : région...) ;
 - dans le temps : portée suffisante pour tenir compte aussi bien de l'évolution à long terme des demandes, des durées d'amortissement des équipements, des délais de réponse des actions sur les utilisateurs... mais limitée par la validité des projections des demandes et leur incertitude à trop long terme.
- . L'aménagement des eaux peut être subdivisé en pratique -tant sur les plans de sa conception que de sa réalisation- en "aménagement de la ressource" (du système de ressource) et en "aménagement des demandes, ou des utilisations" (du système d'utilisation).

Remarque : l'expression "aménagement des eaux", employée dans les différents documents officiels relatifs aux "schémas d'aménagement", ne recouvre souvent dans la pratique que l'aménagement de la ressource en eau. L'ambiguïté de cette équivalence est révélatrice du point de vue partiel des "aménageurs"...

1.1. L'aménagement de la ressource est l'intervention sur la structure du milieu naturel et sur le régime naturel des eaux, visant à les rendre plus facilement et plus complètement exploitables, au moyen d'équipements -d'intérêt collectif en général, et à but plus ou moins multiple...- tels que :

- barrages et réservoir de régularisation,
- ouvrages de transfert (canaux)
- barrages "anti-sel" d'estuaire,
- ouvrages d'alimentation artificielle de nappe.

N.B. exploitables aussi bien du point de vue des prélèvements, que des évacuations et des utilisations in situ.

Cet aménagement comprend également les actions visant :

- à juguler les agressions des eaux du milieu naturel (inondations...) par les équipements de protection et de prévention de nuisances ;
- ou à réduire ou effacer les obstacles opposés par l'eau à l'occupation et/ou l'utilisation du sol ou du sous-sol (drainage d'assainissement ou agricole, dénoyage du sous-sol) ;

donc à corriger les facteurs négatifs (pour les activités humaines) du milieu naturel.

Remarque :

Cet aménagement vise à "accroître", "améliorer", ou "développer" la ressource, dans la terminologie souvent employée par les "aménageurs" (cf. documents d'administrations, d'Agences de bassin...) qui désigne par "ressource" les seules "productibilités" en eau dans un état d'équipement donné (notion analogue à la "productibilité" en énergie des équipements hydroélectriques) ; cette capacité technique maximale de production ne doit pas être confondue avec la ressource en tant que potentiel du milieu naturel.

→ L'aménagement de la ressource est à distinguer des actions de mobilisation ou d'exploitation individuelles (prises d'eau, captages, adductions, restitutions), qui sont en fait des actions directes des utilisateurs, lorsque celles-ci n'ont pas d'incidence significative sur la structure et le régime de la ressource ("cueillette" opposée à l'agriculture...).

1.2. L'aménagement des demandes, c'est-à-dire des utilisations, est l'intervention directe ou indirecte sur la structure et le fonctionnement du "système d'utilisation" : organisation dans l'espace et dans le temps des actions de prélèvement et de restitution (localisation et régime des prises et des effluents, traitement des eaux captées, modification technologique des usages de l'eau, épuration des eaux restituées, promotion de réutilisations,...), visant à accroître la possibilité de leur "coexistence" (minimiser les répercussions sur l'ensemble, des effets de chacune sur le milieu exploité) et en conséquence à diminuer la nécessité et réduire l'effort de l'aménagement de la ressource, ou à l'étaler davantage dans le temps.

Cet aménagement a pour moyens des instruments visant à agir sur les comportements des acteurs économiques utilisateurs (individus, entreprises, collectivités) tels que :

- législation ou réglementation
 - incitation financière (généralement appelée "économique") :
 - . stimulante (aide, subvention, crédit)
 - . dissuasive (amendes, redevances)
 - information et éducation.
- . Ces deux volets de l'aménagement des eaux, sont interactifs et complémentaires ; aucun des deux ne doit être conçu indépendamment de l'autre et leur ajustement -donc coordination- sont donc nécessaires :
- tant pour empêcher des équipements surdimensionnés ou prématurés dans l'aménagement de la ressource,
 - que pour atténuer ou prévenir des contraintes excessives sur les demandes (dirigisme des utilisations),
- malaisément évitables dans le cas où les deux interventions s'ignoreraitent.

2. AMENAGEMENT ET PLANIFICATION

Tout *aménagement* n'est pas nécessairement un *aménagement planifié* : des opérations d'aménagement -notamment de la ressource- peuvent être le fait d'agents utilisateurs particuliers en vue de leur objectif propre (par exemple : alimentation en eau d'une collectivité, production hydro-électrique, navigation, plaisance...), sans être coordonnées avec d'autres ni planifiées.

La planification de l'aménagement des eaux, objet des schémas d'aménagement, est possible et en général souhaitable, mais elle est inégalement réalisée, bien que dans la conception moderne et le discours officiel l'*aménagement* est le plus souvent compris dans le sens interventionniste et volontariste d'aménagement planifié.

La mise en oeuvre de l'aménagement planifié des eaux suppose l'existence d'une autorité :

- sachant ce qu'elle veut et doit faire, soucieuse et capable de subordonner ses décisions aux priorités plus générales d'aménagement du territoire (qui doivent donc être définies et exprimées) ;
- armée à la fois de moyens d'intervention sur la ressource (équipements) et sur les demandes (capacité d'incitation, pouvoir de réglementation "Police des eaux")
- dotée des pouvoirs de coordination et d'arbitrage entre les interventions de décideurs sectoriels sur l'une et sur les autres ;
- adaptée au champ spatial adéquat (portée territoriale) et à la durée voulue (stabilité).

3. SCHEMA D'AMENAGEMENT DES EAUX : CONTENU ET OBJECTIF

Un schéma d'aménagement peut être compris :

- (a) - dans un sens restreint (et tronqué) comme un document de planification (plan et calendrier) des équipements, c'est-à-dire dans la seule optique de l'aménagement de la ressource : il vise essentiellement à guider les décisions d'investissement par l'Etat ou par diverses collectivités (équipements, subventions et aides aux "équipements d'exploitation" collectifs), en permettant leur cohérence.

Dans ce sens, qui correspond à la pratique actuelle la plus courante, les demandes ne sont prises en compte pour élaborer le schéma que comme des données et des bases de "justification".

En outre, les projections de demande :

- . ne considèrent souvent que les demandes de prélèvement, en omettant parfois celles d'utilisation in situ (exemples : pisciculture, hydro-électricité...) et souvent celles de restitution ;
- . sont essentiellement "tendanciellles" (c'est-à-dire, ne tiennent pas compte d'aménagement possible des utilisations) et procèdent de méthodes souvent simplistes.

- (b) - dans un sens plus complet -mais encore peu pratiqué- il devrait conjuguer l'aménagement de la ressource et celui des utilisations :
- . en ne recherchant pas seulement la cohérence entre les différents équipements d'aménagement de la ressource (cf. a), mais en l'élargissant à la cohérence entre ceux-ci et les interventions sur les utilisations,
 - . et en exprimant (ou proposant) un -ou des- arbitrage(s), en fonction d'objectifs plus généraux de développement économique, d'aménagement du territoire et de protection de l'environnement** .

** Les instructions adressées par le Ministère de l'environnement pour élaborer les *schémas d'aménagement des eaux* (19.07.78) définissent ainsi les "objectifs de la démarche" :

- "- fournir un guide rationnel aux décisions individuelles et à l'élaboration des programmes annuels d'équipements destinés à satisfaire les besoins des usagers,
- garantir la cohérence et l'efficacité des ouvrages en tenant compte de leur impact sur l'environnement,
- permettre une concertation constructive et une information objective des populations concernées".

N.B. Les "équipements" et les "ouvrages" invoqués comprennent indistinctement ceux qui ont une finalité -ou un effet- d'aménagement et ceux qui n'ont qu'un rôle d'exploitation..., ce qui pourrait traduire implicitement l'idée que le schéma doit bien associer l'aménagement de la ressource et celui de l'utilisation.

4. MODALITES D'ELABORATION D'UN SCHEMA D'AMENAGEMENT

L'élaboration d'un schéma d'aménagement des eaux peut se décomposer en 4 phases :

- (1) Phase préalable de choix du cadre territorial adéquat (bassin ou sous-bassin, région économique...) et de l'horizon en vue 2000, 2020,...).
- (2) Phase de rassemblement de données : constat de l'état actuel et des tendances passées des demandes ; description des eaux du milieu naturel ; recueil des indications prospectives générales pouvant orienter la prévision des demandes (plans de développement économique et d'aménagement du territoire, schémas d'urbanisme...).
- (3) Phase de conception comparant différents scénarios possibles :
 - . d'évolutions des demandes (croissances, composition et structure -quantité et qualité-) tendanciennes ou "corrigées" (freinées ou stimulées) par des interventions ou des contraintes, assorties de marges d'incertitudes ;
 - . d'aménagement de la ressource (variantes d'équipement, de calendrier, d'évolution des productibilités résultantes),et aboutissant à un certain nombre de projets offrant des alternatives, dont certains proposent d'agir à la fois sur les demandes et sur la ressource.
- (4) Phase de discussion, avec participation des utilisateurs et de choix concerté (par une autorité politique d'arbitrage ou d'enregistrement d'un consensus) d'un schéma, ce qui n'exclut pas des possibilités de révision ultérieure ("rectifications de trajectoire").

Le rôle des techniciens (de l'hydrologue et de l'hydraulicien à l'économiste), après l'acquisition des données et l'élaboration d'informations, est de formuler les termes des choix proposés en 3ème phase (avantages, inconvénients, coûts, incertitudes...), puis de participer au débat de la 4ème phase, mais non de se substituer au(x) décideur(s) intervenant alors, qui doit prendre ses responsabilités.

5. PLACE DE L'EVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU

Dans les phases (2) et (3) d'élaboration d'un (ou de) schéma(s) d'aménagement des eaux, l'évaluation de la ressource est généralement considérée par le planificateur comme une opération préalable à son intervention. La ressource serait dans cette optique à définir a priori (ce qui se fait le plus souvent), en l'assortissant tout au plus de variantes en "possibilités d'exploitation" : cette évaluation est la contribution demandée aux "spécialistes de la ressource" (hydrologues et hydrogéologues, techniciens d'exploitation et de mobilisation).

→ Cette procédure trop partielle et univoque n'a que peu d'utilité opérationnelle et elle empêche une confrontation complète ressource/demande.

Cette critique conduit à :

- préciser les notions de ressource (cf. infra 6) ;
- souligner des aspects spécifiques aux eaux souterraines (cf. infra 7) en matière d'aménagement de la ressource et des utilisations.

6. NOTIONS DE RESSOURCE EN EAU :

- . La ressource en eau considérée en première analyse, peut être conçue comme un *potentiel d'offre*, évaluable globalement par une quantité unique, mais qu'on ne doit pas assimiler simplement au débit naturel moyen et aux réserves d'un bassin, d'un aquifère. Ce potentiel est offert par un *système de ressource* :

- ayant une structure, un régime et un comportement plus ou moins complexes (à décrire),
- et soumis à des contraintes extérieures à ce système (à identifier et exprimer,

qui contribuent à déterminer les caractères de l'offre (quantités, qualités, distributions, variations ; facilité ou difficultés de maîtrise et de mobilisation, sensibilité aux actes de prélèvement et de rejet...).

- . La description et l'évaluation des facteurs naturels de la ressource sont affectées de deux incertitudes :

- incertitude de connaissance, qui porte surtout sur la structure (approximations et limitations des données) ;
- incertitude d'occurrence des variables d'entrée (aléas des apports naturels).

L'une et l'autre contribuent à donner un double aspect probabiliste (de formulations analogues) à l'estimation de la ressource. La stabilité à moyen et long termes des contraintes extérieures peut de même être frappée d'incertitude.

- . L'estimation de la ressource en eau en tant qu'*offre* confrontable aux *demandes* (dans un champ spatio-temporel adéquat) n'est pas indépendante de celles-ci en raison des structures et des régimes respectifs du système de ressource et du système d'utilisation, ni -parfois- indépendante de contraintes extérieures à ce double système : ce qui conduit aux notions de *ressource potentielle* et de *ressource exploitable*.

** Cf. à ce sujet 2 documents récents :

- . "*L'eau, matière première*", par A.E-C et J.M. (rapport BRGM 78 SGN 674 HYD)
- . "*Quelles ressources en eau peut-on et veut-on utiliser*", par J.M., A.E-C et P. HUBERT (E.N.S.M.P./C.I.G.). Rapport aux Journées "L'eau, la recherche, l'environnement", Minist. Envir. Cadre de Vie, Limoges, Oct. 1979. Peut-être obtenu sur demande au B.R.G.M./S.G.N.

6.1. La ressource en eau potentielle est conçue préalablement à une confrontation avec des demandes définies, d'après une partition théorique des eaux naturelles opérée selon des critères souvent très différents et non homogènes.

Une part des eaux naturelles peut être rendue ou considérée a priori "inexploitable" :

- . soit par volonté de préserver le milieu naturel (environnement) en tant que tel et non simplement pour conserver la reproduction de la ressource ;
- . soit du fait d'obstacles ou d'obligations politiques (cas de cours d'eau entrant ou sortant du territoire national ou régional, à contraintes amont ou astreintes aval) ;
- . soit encore par empêchement dû aux conséquences sur le milieu d'autres activités jugées prioritaires (occupation et utilisation du sol et du sous-sol).

N.B. Dans les trois cas, l'"inexploitabilité" résulte d'un arbitrage supérieur, externe au système de ressource/utilisation d'eau considéré. La ressource en eau potentielle est définie par la prise en compte de ces contraintes externes.

6.2. La ressource en eau exploitable doit être conçue comme résultat des confrontations entre la ressource potentielle et des demandes projetées définies, qu'il convient donc d'analyser et de prévoir, voire d'orienter dans l'optique d'une planification volontariste. Ces confrontations sont à opérer à la fois sur les plans physique et économique, et en tenant compte d'un terme de reproductibilité de la ressource (dans le cas général des ressources renouvelables).

D'où l'impossibilité de déterminer la ressource exploitable comme une solution unique.

- . On se contente souvent de présumer inexploitable une partie de la ressource potentielle, en se basant sur une supputation des résultats globaux de la confrontation offre/demande dans le système de ressource/utilisation*. Mais cela revient à introduire comme une "donnée" initiale et unique, pour élaborer un schéma d'aménagement, le résultat anticipé des choix dont le schéma doit lui-même proposer les alternatives...

On peut donc mettre en doute la validité opérationnelle de cette procédure.

- . Dans la pratique courante actuelle, la conception de ressource exploitable oscille entre ce dernier sens de présomption initiale théorique et celui de résultante de confrontations réelles. L'ambiguïté de cette notion traduit la différence entre le point de vue de l'aménageur (de la ressource) qui considère surtout les difficultés techniques de

* Cf. par exemple les estimations globales indiquées par la C.C.E. (1977) pour plusieurs pays de la Communauté européenne, qui chiffrent des "ressources en eau exploitables" de 51 % (Danemark) à 88 % (Irlande) des "ressources naturelles", sans se baser sur des critères homogènes...

l'exploitation -maîtrise et "mobilisation" des eaux du milieu naturel- et celui des utilisateurs qui considèrent surtout les coûts qu'ils auront à supporter et qui les confrontent à leurs objectifs économiques propres.

Conclusion : La ressource en eau à considérer comme donnée d'entrée pour élaborer un schéma d'aménagement est la ressource potentielle.

7. REMARQUES SUR LES ASPECTS PROPRES AUX EAUX SOUTERRAINES en matière d'aménagement des eaux.

7.1. L'aménagement direct de la ressource s'applique peu aux eaux souterraines. Il n'existe pas d'homologue aux "aménagements hydrauliques" de surface, hors le cas particulier d'ouvrages d'alimentation artificielle (qui n'ont d'ailleurs souvent qu'un objectif localisé lié à une demande précise...).

L'intervention sur la ressource (intensification de son exploitation et/ou conservation, selon les zones et les stades) procède surtout indirectement par le biais de l'aménagement des utilisations et de la gestion collective des demandes. L'exploitation directe des eaux souterraines, par de nombreux usagers individuels ou par des "producteurs" intermédiaires, est en effet le plus souvent praticable sans aménagement collectif de la ressource.

→ C'est pourquoi la planificateur de l'aménagement des eaux, qui a pour optique essentielle l'aménagement de la ressource, tend naturellement à négliger les eaux souterraines : parce que leur mobilisation ne nécessite guère d'aménagement du point de vue de l'aménageur, leur importance en tant que ressource est minimisée.

7.2. Confronter séparément l'"offre - eau souterraine" et une demande sectorielle particulière (restreinte elle-même à une demande de prélèvement) n'a qu'une portée limitée. Cela revient à anticiper sur des arbitrages d'affectation de ressources (eaux de surface et souterraine) à décider à l'issue d'une confrontation générale offres/demandes, dans le cadre du schéma d'aménagement.

→ Il n'y a pas lieu de considérer séparément des "demandes en eau souterraine" et des "demandes en eau de surface" en tant que demande d'approvisionnement projetée (ou "besoin"), et il est déconseillé de concevoir deux schémas d'aménagement de ressource... (bien que cela se pratique parfois).

7.3. La ressource en eau souterraine en tant qu'offre est confrontée aux demandes pour l'essentiel en amont des usages (= demandes de prélèvement) et exceptionnellement aux demandes de restitution, en aval des usages (rejets directs ou après épuration), celles-ci étant le plus généralement adressées aux eaux de surface...

- 7.4. Les eaux souterraines peuvent être exploitées et utilisées soit en tant que matière-eau, soit en tant que vecteur, notamment fluide caloporteur (cf. le développement des pompes à chaleur ou l'exploitation géothermique des nappes profondes). Ce qui peut poser dans certains cas des problèmes de compatibilité requérant arbitrage.
- 7.5. L'objectif sécurité n'entre pas en ligne de compte, sauf cas très particulier (effets du régime des eaux souterraines sur la stabilité du sol...).

Par contre tantôt des conflits appelant des conciliations, tantôt des concordances entre l'exploitation des eaux souterraines et diverses formes d'occupation du sol ou de l'espace souterrain ou d'exploitation d'autres ressources du sous-sol sont parfois à considérer. Certains ouvrages de surface ou souterrains, ou des industries extractives, peuvent dégrader la ressource (en perturbant le régime naturel, en diminuant les apports, en altérant la qualité) ou entraver son exploitabilité. Au contraire une intensification de l'exploitation des eaux souterraines peut faciliter l'occupation du sous-sol en le dénoyant (exemple du sous-sol parisien) et l'exhaure minier peut fournir des eaux utilisables.

Vis-à-vis de l'aménagement des eaux (ici : de l'utilisation des eaux souterraines) les arbitrages de ces conflits ou la prise en compte de ces complémentarités ressortissent de l'aménagement du territoire et s'expriment par des contraintes dont celle de coordination. De même, à l'inverse, la protection de la ressource se traduira par des servitudes vis-à-vis des autres collectivités.

En résumé :

Dans un *schéma d'aménagement des eaux*, les eaux souterraines sont à considérer essentiellement du point de vue de l'aménagement de l'utilisation.

Dans la mesure où les eaux souterraines et les eaux de surface sont liées dans un même "système de ressource" -ce qui est en général largement le cas en France- l'utilisation des eaux souterraines, en ayant une incidence sur la ressource en eau globale, implique donc la nécessité d'aménager la ressource en eau de surface, et elle réagit de toute façon sur les modalités d'aménagement de cette dernière.

NOTIONS DE SYSTEME D'UTILISATION DE L'EAU, ET DE RELATIONS
ENTRE ACTEURS ECONOMIQUES DANS CE SYSTEME

Extrait de :

"Introduction à l'économie générale de l'eau"

(A. ERHARD-CASSEGRAIN, J. MARGAT - 79 SGN 329 HYD, chapitres 2 et 3).

. Système d'utilisation de l'eau

Si on définit un *systeme* (avec J. de ROSNAY -"Le Macroscopie", 1975-) comme "un ensemble d'éléments en interaction organisés en fonction d'un but", un systeme d'utilisation de l'eau est l'ensemble des unités de gestion (technique et économique) dont les inter-relations sont déterminées par un but commun qui est l'*utilisation* de l'eau, relative à la fois à la sphère économique (utilisation en vue d'objectifs de production et/ou de consommation) et au milieu naturel (exploitation de la ressource, détournant l'eau de ce milieu -par les actes de prélèvement et de restitution-, ou non-utilisation in situ-).

Dans un tel système, il convient d'établir une distinction claire entre les rôles décisionnels des deux catégories principales d'intervenants dans la gestion de l'eau :

- les *aménageurs* : gérants de la ressource (et du système de ressource),
- et les *usagers* (ou leurs représentants), pour lesquels l'utilisation de l'eau n'est qu'un *moyen* ou un sous-objectif, par rapport à l'objectif essentiel qu'est, pour eux, la production et/ou la consommation d'un certain nombre de biens et de services.

Il est nécessaire que les deux catégories d'intervenants prennent en considération (en tout ou partie selon leur degré ou niveau d'intervention ou de préoccupation) le "macro-système" : *ressource-utilisation*, alors même que leurs angles d'observation sont distincts et que leur objectifs directs peuvent être conflictuels.

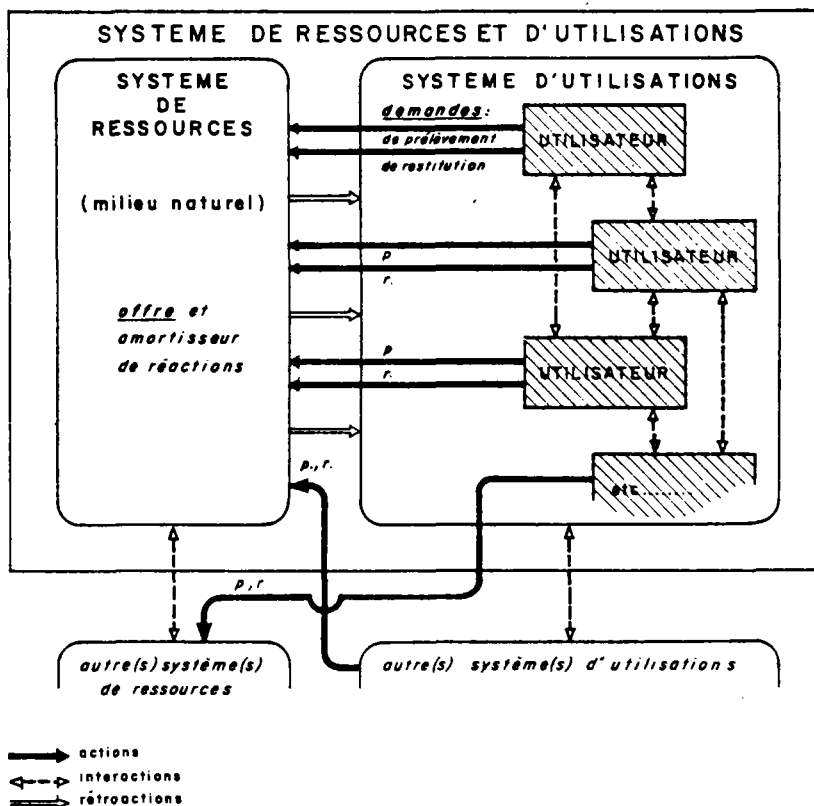


Schéma de système de ressource et d'utilisation d'eau

Relations entre acteurs économiques dans un système d'utilisation de l'eau

La structure technique et économique d'un système d'utilisation (cf. supra) peut comporter deux modes principaux de relation entre les unités de gestion économique faisant usage de l'eau et le système de ressource. A ceux-ci se rapportent deux niveaux de décision distincts, qui permettent de cerner et de situer les deux "systèmes de demande" et de mettre en évidence les deux notions d'utilisation correspondantes (fig.).

1er cas : le même acteur économique intervient à tous les stades de l'utilisation de l'eau (prélèvement, usage, restitution).

En particulier, il sollicite directement le milieu naturel en amont comme en aval de l'usage.

Les décisions relatives à ce mode d'utilisation sont en partie déterminées par l'évaluation des *coûts* (internes à chaque unité de gestion) de prélèvement et/ou de rejet.

La *demande* adressée au milieu naturel est alors immédiatement identifiable aux prélèvements et aux restitutions.

2ème cas : des acteurs économiques distincts interviennent aux différents stades de l'utilisation.

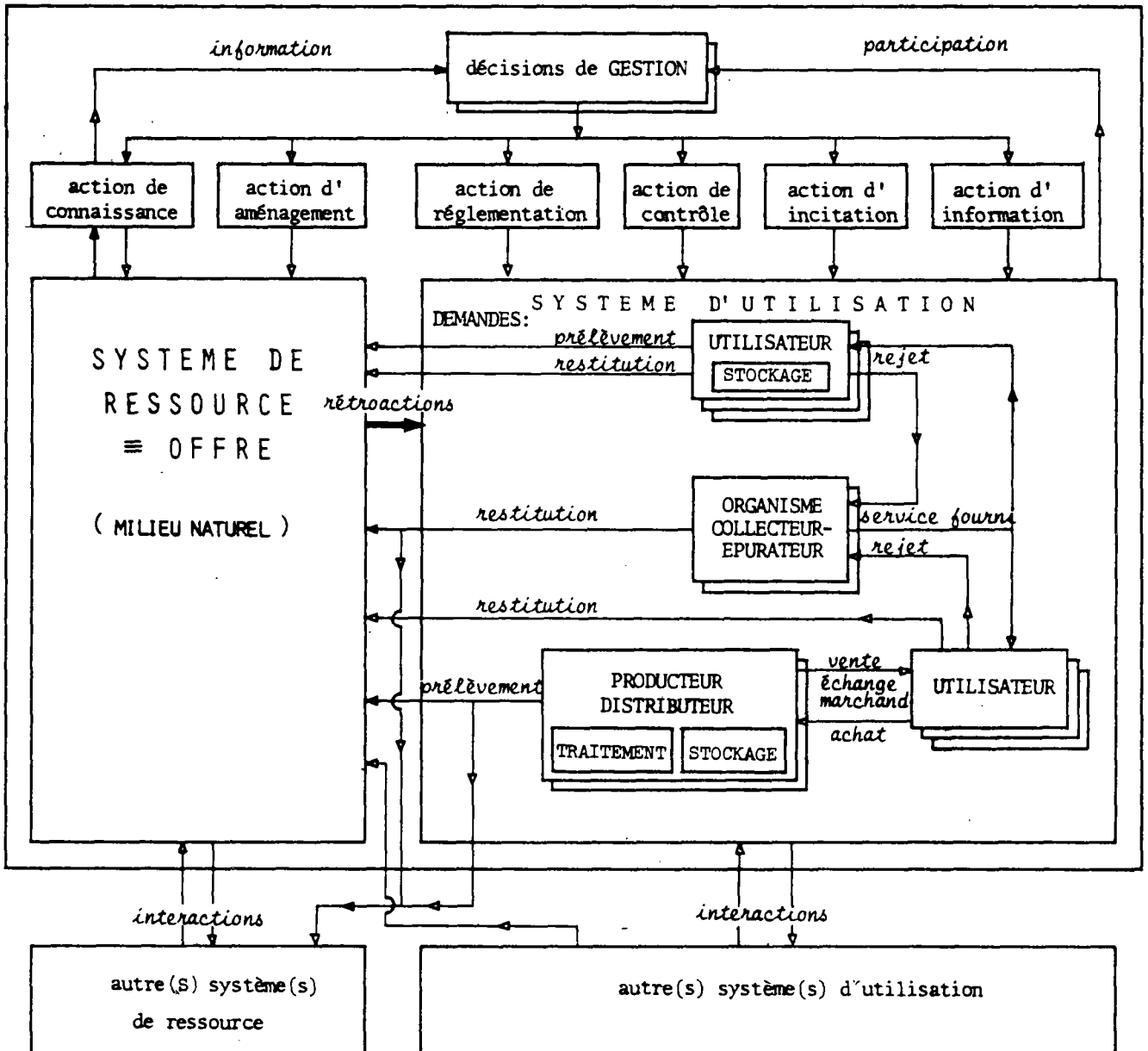
Un acteur économique intermédiaire (au moins) s'intercale entre le milieu naturel qu'il sollicite directement -en tant que "producteur" d'eau ou "épurateur-restituteur"- et l'utilisateur qu'il dessert -en tant que distributeur ou collecteur-.

N.B. : variantes possibles : en amont de l'usage, la production et la distribution d'eau peuvent elles-mêmes être le fait d'acteurs économiques distincts.

Les décisions relatives à ces modes d'utilisation, sont en partie déterminées par l'évaluation :

- en amont de l'utilisateur-, du coût de production brut auquel s'ajoutent des coûts d'adaptation (transport, stockage, traitement, distribution) ;
- en aval de l'utilisateur -, des coûts d'adaptation (évacuation, épuration, restitution) ;
- au stade de l'utilisateur -, par les prix ou tarifs en vigueur (soit d'approvisionnement, soit d'assainissement-).

La demande adressée au milieu naturel n'est alors identifiable : ni aux prises d'eau sur les réseaux de distribution, ni aux rejets.



Actions et niveaux de décision dans un système de ressource et d'utilisation.

(N.B. : les flèches représentent des actions et non des flux).

2ème PARTIE

LES CONTRIBUTIONS DE L'HYDROGEOLOGUE A
L'ELABORATION DE SCHEMAS D'AMENAGEMENT DES EAUX

par J. MARGAT

SOMMAIRE

- . Introduction
- 1. Définition et analyse des *systemes aquifères*.
- 2. Evaluation et expression du *potentiel* offert par chacun d'eux :
ressource et conditions physiques d'exploitabilité.
- 3. Inventaire et économie des *exploitations - utilisations* actuelles
d'eau souterraine.
- 4. Inventaire et expression des *contraintes* (facteurs limitant la
faculté d'exploiter et utiliser le potentiel).
- 5. Estimation des *disponibilités* théoriques.
- 6. Participation à *l'analyse des confrontations* projetées offre/demande
et conception d'avant-projets d'exploitation intégrés dans différents
schémas d'aménagement des eaux.
- 7. Définition des mesures à prendre pour réaliser *l'aménagement planifié
des utilisations d'eau souterraine* envisagé dans le(s) schéma(s)
d'aménagement des eaux élaboré(s).
- . Aide-mémoire argumentaire : les avantages de l'exploitation des
eaux souterraines.

Annexes :

- I - Typologie des systèmes aquifères appliquée à leur gestion planifiée.
- II - Plan d'une fiche d'identité de système aquifère.
- III - Cartographie des facteurs favorables et des contraintes de
l'exploitation des eaux souterraines.
- IV - Impacts aménagement/eaux du milieu naturel.

- . Orientation bibliographique sur l'aménagement des eaux.

INTRODUCTION

Les contributions de l'hydrogéologue -expert, organisme d'étude ou service public d'hydrogéologie- à l'élaboration de *schémas régionaux d'aménagement des eaux*, dont on a défini la teneur et les objectifs en première partie, ont pour objet :

- En phases d'étude :

- . Participer à l'analyse et à l'évaluation de la ressource en eau ("potentiel d'offre"), à l'échelle régionale.
- . Concevoir des avant-projets d'exploitation d'eau souterraine :
 - compatibles avec la ressource ;
 - accordés avec différentes hypothèses de développement des demandes et d'affectation de la ressource.
- . Concourir aux projections de confrontations offres/demandes, selon divers scénarios, et à l'appréciation de leurs résultats.
- . Coopérer à la conception de schémas optionnels d'aménagement des eaux (ressource, utilisations) en mettant l'accent sur l'aménagement des utilisations d'eau souterraine et sur leurs répercussions sur l'aménagement de la ressource en eau de surface.

- En phase de concertation et de discussion :

- . Participer, parmi les techniciens "experts auprès du (ou des) décideur(s)", au débat devant aboutir à un consensus ou à un arbitrage, et à l'adoption d'un schéma d'aménagement.

On décrit ci-après, les différentes actions à entreprendre dans les phases d'étude, dont l'enchaînement constitue un plan-type d'opération.

1. Définition et analyse des principaux systèmes aquifères régionaux, compris en tout ou partie dans le champ considéré pour le schéma d'aménagement à élaborer*.

- La notion de *système aquifère* naturel a été suffisamment définie dans plusieurs documents antérieurs auxquels on pourra, s'il en est besoin, se reporter (cf. notamment J. MARGAT, 1976, "*Analyse des systèmes aquifères...*" 76 SGN 532 AME ; M. BONNET, 1978, "*Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie*", thèse et 78 SGN 655 HYD).

Rappelons seulement que l'analyse d'un système aquifère consiste essentiellement à :

- décrire sa structure -son "anatomie"- et son fonctionnement hydraulique naturel -sa dynamique-, en vérifiant la cohérence générale entre les paramètres constants ou variables qui définissent l'une et régissent l'autre ;
 - puis à évaluer sa sensibilité à des actions artificielles ajoutées aux impulsions naturelles, c'est-à-dire son comportement : aptitude à réagir notamment aux exploitations (prélèvements, restitutions ou injections).
- N.B. La définition correcte de ce comportement d'un système aquifère, importe plus que la précision affectant la description de la structure et/ou la connaissance des valeurs et de la distribution des paramètres locaux.

- La délimitation et la description des principaux systèmes aquifères d'une région donnée est basée sur l'analyse des conditions hydrogéologiques (notamment des documents de présentation synthétique de ces conditions : monographies, cartes hydrogéologiques) -structures, dynamique-, sans négliger les relations entre eaux souterraines et eaux de surface (évaluation des degrés de dépendance des aquifères et des cours d'eau, et de leurs interactions effectives ou possibles).

Rappel :

Une telle analyse a été esquissée, en première approximation et à petite échelle pour inventorier les principaux systèmes aquifères du territoire français (cf. J.M. 1976, "Définition des principaux systèmes aquifères du territoire français", 76 SGN 531 AME, avec 2 cartes de France à 1/1 000 000 complété par M.J. LIENHARDT-J. MARGAT 79 SGN 342 HYD).

- Les systèmes aquifères à sélectionner sont tous ceux prenant, ou capables de prendre, une part appréciable dans l'"économie de l'eau" régionale. Les critères de sélection étant :
 - leur extension,
 - la part relative de la ressource en eau (totale) de la région, qu'ils offrent,
 - l'importance du concours apporté par leur exploitation aux approvisionnements en eau présents et de celui présumable pour satisfaire des demandes à venir.

* L'identification et la délimitation de ces systèmes peuvent, réciproquement, concourir au choix du cadre géographique des schémas.

- Chaque système aquifère retenu est à caractériser par la manière dont son comportement conditionne son exploitation, ou "gestion technique" de son utilisation.

On se référera à cette fin à une typologie des systèmes aquifères établie suivant les deux caractères majeurs à considérer de ce point de vue :

- degré de connexion entre aquifère et cours d'eau de surface,
- rapport entre flux et stock.

→ cf. le tableau ci-dessous, et l'annexe I.

TYPOLOGIE DES SYSTEMES AQUIFERES
du point de vue des conditions techniques de leur "gestion"

CLASSIFICATION

connexion aquifère/ eaux de surface → rapport flux/stock (renouvellement) +	très forte	forte à moyenne	faible à négligeable (indépendance)
flux faible à moyen pouvant croître sous l'effet d'exploitation ; capacité faible à moyenne.	aquifère libre localisé subordonné à un cours d'eau non colmaté (et assez pénétrant) : → <i>gestion de flux</i>		aquifère libre ou semi-captif subordonné à un cours d'eau colmaté et/ou à pénétration très partielle : → <i>gestion de flux</i>
flux moyen à élevé, variable ; capacité moyenne à forte.		aquifère libre étendu : → <i>gestion de flux et de stock renouvelé</i>	
flux faible à moyen, accru sous l'effet d'exploitation (drainance) ; capacité faible, accrue à long terme par appel aux réserves de couches semi-perméables.		aquifère libre limité, emboîté dans des formations semi-perméables capacitives : → <i>gestion de flux et de stock renouvelé</i>	aquifère semi-captif : → <i>gestion de flux</i>
flux faible à négligeable, peu ou non accru par l'exploitation ; capacité moyenne, très accrue en cas de dénoyage.			aquifère captif : → <i>gestion de stock non renouvelé</i> ou <i>gestion de flux</i> au voisinage de limites d'alimentation

cf. aussi : rapport 76 SGN 531 AME (J.M.), pages 3 et 4 et carte III.

2. Evaluation du "potentiel" offert par chaque système aquifère

2.1. Estimation des aptitudes offertes et des limitations imposées par les conditions physiques et le comportement de chaque système à son exploitation et utilisation :

- Flux ("ressource renouvelable")
 - débit global moyen,
 - variabilité (débit médian, débit minimal de fréquence donnée -par exemple dépassé 9 années sur 10-)
 - distribution spatiale des apports (à cartographier) -pour un système assez étendu-.

- Qualité des eaux
 - qualité(s) offerte(s) exprimée(s) selon une classification normative basée sur les exigences en qualité de diverses utilisations ; variabilité ; zonalité éventuelle (à cartographier).
 - Exemple : Carte de la qualité chimique des eaux souterraines de la France à 1/1 000 000 (SPE/B.R.G.M., 77 SGN 606 HYD)

- Productivités locales d'ouvrages de captage
 - débits spécifiques, productions maximales, zonalité (à cartographier).

- Réserve
 - à la fois en terme de capacité régulatrice des variations des flux d'apport et/ou de prélèvement (taux de renouvellement) permettant des "surexploitations" temporaires, saisonnières ou en "année sèche" ;
 - et en terme de stock (= ressource non renouvelable) exploitable pendant une durée finie : fraction "extractible" de la réserve totale, selon des critères à définir.

- Aptitude à l'alimentation artificielle (capacités disponibles, absorptivités locales d'ouvrages).

- Coûts de production locaux
 - coûts de base initiaux
 - zonalité éventuelle (à cartographier)
 - Exemple : "Carte du coût moyen du captage et de l'exploitation de l'eau souterraine" à 1/500 000 du Languedoc-Roussillon (78 SGN 183 LRO).
 - évolution possible (notamment en cas d'exploitation de réserve).

- Sensibilités de ces "potentiels" aux effets de l'exploitation :
 - possibilités d'accroissement des apports sous l'effet induit de l'exploitation (cas des aquifères subordonnés à des cours d'eau) ;
 - risques -à l'inverse- de diminution des apports, ou de dégradation des productivités initiales (seuils de "surexploitation locale", par unité de surface, à ne pas dépasser) ;
 - sensibilité de la qualité des eaux à la mise en exploitation (risque d'appel à des eaux limitrophes, superficielles ou souterraines, de qualité inférieure...).
- Sensibilité du système à des impacts d'activités humaines, y compris de l'aménagement hydraulique de surface :
 - "perturbabilité" du régime naturel (d'alimentation, d'écoulement) de la nappe ;
 - vulnérabilité à la pollution (cf. procédure d'analyse et de cartographie désormais rôtée).

2.2. Identification et expression des contraintes externes au système général de ressource et d'utilisation des eaux, limitant la faculté d'exploiter les eaux souterraines, en préalable à toute confrontation avec les demandes. Ces contraintes peuvent résulter d'activités de fait concurrentes ou d'arbitrages d'aménagement du territoire et/ou de préservation de l'environnement.

- Ces contraintes externes sont la conséquence :
 - (a) soit d'occupations ou utilisations actuelles du sol ou du sous-sol (états de fait) qui diminuent la ressource, ou qui entravent son exploitabilité ;
 - (b) soit d'arbitrages visant à limiter dans l'avenir les servitudes que des développements d'exploitation des eaux souterraines pourraient imposer à ces activités, ou encore à atténuer ou empêcher les impacts de ces exploitations sur l'environnement.
- Elles s'exprimeront :
 - par des restrictions de ressource (évaluables globalement),
 - par des restrictions d'exploitabilité technique (zones exclues, rabattements de nappe limités,...).
- Si ces contraintes -lorsqu'elles ont un caractère prévisionnel (b)- ne sont pas explicitement formulées par des documents de planification plus généraux établis antérieurement, il n'appartient pas à l'"aménagement des eaux" d'anticiper et de préjuger les choix d'"aménagement du territoire", mais :
 - de se donner des hypothèses de travail provisoires (avec variantes),
 - d'indiquer la nécessité d'arbitrages au niveau supérieur, tout en lui fournissant des éléments d'appréciation (nécessités de protection minimale de la ressource en eau souterraine et de son exploitabilité, vis-à-vis des objectifs économiques de leur utilisation).

2.3. Conclusion :

- . Estimation de la part eaux souterraines de la ressource en eau potentielle du champ du schéma d'aménagement.

3. Inventaire et économique des exploitations - utilisations actuelles d'eau souterraine.

3.1. Présentation (et critique de validité) des données disponibles sur les *demandes* qui sollicitent chaque système aquifère : prélèvements et restitutions (réinjection ou alimentation artificielle) éventuelles :

- localisation,
- débits moyens, variations (pointes, discontinuités), sommation,
- productibilités : prélèvements maximaux théoriques permis par les équipements d'exploitation actuels (en cas de plein emploi),
- historiques de production (avec essai d'explication des tendances mises en évidence).

3.2. Analyse de la répartition des prélèvements (et des restitutions ou alimentations artificielles) :

- par secteur d'utilisation (exemple : irrigation, industrie) ou d'affectation à utilisations multiples (exemple : production et distribution d'eau potable) ;
- par type d'acteur économique : exploitants-usagers, producteurs-distributeur ;
- éventuellement par modalité technique et coûts d'exploitation.

N.B. Prélèvements et restitutions en quantité, avec indications sur les qualités respectives... dans la mesure du possible.

3.3. Identification et description des *impacts* et des *servitudes* déterminées par l'utilisation (présente et passée) des eaux souterraines :

- a) - impacts* (= différences par rapport aux états initiaux connus ou présumés) et effets externes des actions de prélèvement et/ou de restitution :
 - . impacts sur le régime naturel des nappes exploitées (alimentation naturelle, niveaux), sur l'existence de plans d'eau naturels :
- Conséquences externes aux conditions d'exploitation des eaux souterraines :
- sur l'agriculture (sol),
 - sur la stabilité du sol,
 - sur des écosystèmes aquatiques (étangs...).

* cf. Annexe IV

- . impacts sur le régime naturel de sources et de cours d'eau (débits) : différence de quantité ou *préjudice* subi par le système d'écoulement de surface considéré (compte tenu des restitutions).

Conséquences externes sur l'utilisation des eaux de surface (y compris in situ).

- b) - servitudes (réglementairement exprimées ou virtuelles), vis-à-vis d'autres activités que l'exploitation d'eau, entraînées par la protection de la ressource exploitée, c'est-à-dire par la sauvegarde des possibilités de "production d'eau" (en quantité et en qualité).

Exemple : périmètres de protection des eaux captées pour A.E.P.

3.4. Estimations, pour l'ensemble de la région considérée et par sous-région :

- de la part prise actuellement par l'exploitation d'eau souterraine pour satisfaire les demandes d'approvisionnement en eau, par secteur d'utilisation ;
- de la part prise actuellement par les aquifères comme milieu récepteur de restitutions (par rapport aux cours d'eau) par secteur d'utilisation (légalement ou non...).

4. Inventaire et expression des contraintes internes au système de ressource et d'utilisation des eaux = facteurs limitant la faculté d'exploiter et utiliser le potentiel en eaux souterraines estimé en (2).

4.1. Ces contraintes sont de natures différentes et ne se réfèrent pas au même niveau de système. Ne pas mettre sur le même plan, à ce stade de l'analyse :

- a) des contraintes extérieures au système aquifère, qui expriment des arbitrages d'utilisation de ressource (notamment entre eaux souterraines et eaux de surface) ;
- b) des contraintes internes particulières à un système aquifère utilisé, qui peuvent exprimer des arbitrages entre des utilisations (et formes d'exploitation) concurrentes.

4.2. Ces contraintes internes (a) et (b) seront les conséquences de choix et d'arbitrages dont l'élaboration du schéma d'aménagement a précisément pour objet de formuler les termes (en proposant notamment des scénarios alternatifs...) :

- au niveau du système de ressource et d'utilisation des eaux dans son ensemble :
 - choix du "débit minimal acceptable" (DMA) à conserver dans les cours d'eau (lié lui-même aux "objectifs de qualité"), qui fixe une contrainte aval à l'exploitation des aquifères que ceux-ci drainent ;

- au niveau d'un système aquifère défini et de son utilisation particulière :

- choix de la mesure dans laquelle les modes -et les coûts- d'exploitation actuels sont à conserver. Cela équivaut souvent à la "conservation" d'avantages acquis par des exploitants antérieurs -cf. exemple des micro-puits artésiens des cressonnières...*- ou encore cela traduit une préférence donnée à la prévention de conflits futurs prévisibles, plutôt qu'à leur arbitrage ultérieur...). Il en résulte des contraintes sous forme de restriction à la croissance des exploitations (éventuellement traduite sur le plan réglementaire : régime d'autorisation).

4.3. Fixer ces contraintes a priori, comme facteurs limitant de l'exploitation des eaux souterraines reviendrait à anticiper sur ces choix et à présumer plus ou moins arbitrairement des résultats de la confrontation générale offres/demandes.

Au stade initial de l'élaboration du schéma d'aménagement des eaux, il n'est permis, tout au plus, que de formuler des hypothèses provisoires (et multiples) sur ces contraintes en faisant ressortir leur relativité et leur marge de flexibilité.

5. Estimation des disponibilités théoriques (en quantité).

Etablissement, pour chaque système aquifère, d'un "bilan d'utilisation" (exprimé en flux moyens, en m³/s ou hm³/an) :

disponibilités actuelles (en quantité) =

Ressource potentielle - Prélèvements + restitutions ou apports artificiels
--

complété par les index globaux :

$$\text{. Indice d'exploitation} = \frac{\text{prélèvements}}{\text{ressource potentielle}} \times 100$$

$$\text{. Indice de consommation} = \frac{\text{prélèvements} - \text{restitutions}}{\text{ressource potentielle}} \times 100$$

N.B. Ces estimations absolues (assorties de fourchettes d'incertitude) et ces indices globaux n'ont qu'une valeur d'indicateurs. Ils ne permettent pas de faire percevoir d'éventuelles zones critiques localisées ou périodes critiques temporaires. Ils ne différencient pas, en outre les prélèvements ni la ressource par classes de qualité.

6. Participation à l'analyse des confrontations projetées offres/demandes (ressource/utilisations).

Cette participation comprend :

- la présentation des informations appropriées (6.1.)
- la conception d'avant-projets d'exploitation (6.2.)

- l'analyse et l'évaluation des interactions entre diverses utilisations projetées (6.3.)
- la confrontation entre les effets des actions projetées et les contraintes externes, et la formulation des termes de choix (6.4.).

6.1. L'hydrogéologue est appelé à coopérer avec différents partenaires, de formations et de préoccupations diverses. Aussi convient-il qu'il s'efforce en premier lieu de présenter les informations résultant de ses analyses (actions 1 à 5 décrites précédemment) d'une manière claire, à la fois synthétique et sélective, adaptée aux besoins... et aux capacités de compréhension de ses partenaires. A cette fin, un moyen simple peut consister en une présentation cartographique conjointe des informations régionalisables qui se rapportent aux facteurs favorables et aux facteurs limitant du développement de l'utilisation des eaux souterraines.

(cf. à ce sujet l'annexe III)

RECOMMANDATION

Pour chaque domaine choisi comme cadre territorial d'un schéma d'aménagement des eaux (bassin, sous-bassin, région) un ATLAS minimal composé de 5 cartes schématiques serait une contribution utile (échelle la plus appropriée : 1/500 000 à 1/250 000) :

1. Carte des systèmes aquifères selon la typologie indiquée en (1) en montrant l'extension éventuelle de certains d'entre eux à l'extérieur du domaine (cf. Nouvelle carte hydrogéologique de la France à 1/1 500 000).
2. Carte des productivités des ouvrages de captage (valeurs médianes par zones homogènes et dispersion probable).
3. Carte des coûts de base d'exploitation d'eau souterraine.
4. Carte des principales exploitations actuelles (prélèvement, restitutions, alimentation artificielle) et de leurs impacts identifiés.
5. Carte de synthèse des facteurs favorables et des contraintes.

6.2. Conception d'avant-projets d'exploitation (plans, régimes, évolution dans le temps), ou d'intensification d'exploitations actuelles, assortis de variantes, pouvant s'intégrer à différents scénarios de localisation et d'évolution des demandes (définies en quantité et qualité) et comportant des estimations :

- des productions projetées (quantité, qualité)
- des coûts (initiaux et éventuellement croissants) :
 - . coûts d'exploitation locaux,
 - . coûts d'adaptation éventuels (traitement d'eau, transport, relatifs à diverses hypothèses d'utilisation) ;
- des répercussions éventuelles sur les exploitations préexistantes (modes, coûts, ...), conséquences des réactions sur le système aquifère (rétroactions) ;

- des impacts sur les eaux de surface et d'autres éléments de l'environnement (effets externes, de l'utilisation des eaux souterraines)
→ cf. impacts des exploitations actuelles, supra 3, (a) ;
- des servitudes de protection entraînées (quantité et qualité)
→ cf. celles des exploitations actuelles, supra 3, (b).

6.3. Analyse et évaluation des interactions possibles entre les utilisations projetées respectives d'eau de surface et d'eau souterraine dans différents schémas envisageables :

- incidences sur la ressource en eau de surface des impacts directs de l'exploitation des eaux souterraines sur le régime des sources et des cours d'eau ;
- effets indirects sur le régime de cours d'eau de restitution après usage d'eau prélevée en aquifère ;
- effets -positifs ou négatifs- sur le régime et/ou la qualité des eaux souterraines (sur leur alimentation et/ou sur leurs conditions aval) d'équipements hydrauliques de surface, et de diverses formes d'utilisation d'eau de surface (irrigation, canaux, distribution d'eau, épandage et rejet d'eau usée pouvant déterminer des suralimentations et influencer la qualité des eaux souterraines) ;
- effets externes positifs possibles de l'exploitation des eaux souterraines (atténuation ou suppression de la nécessité de drainage d'assainissement, ou d'exhaure de travaux souterrains, dans certains cas).

6.4. Confrontation entre :

- les effets externes (au système aquifère et aux objectifs des exploitants), ou "impacts" propres aux exploitations - utilisations d'eau souterraine projetées (tant sur les eaux de surface que sur d'autres éléments de l'environnement),
 - et les contraintes externes au système de ressource - utilisations d'eau (cf. supra 2.2.), ainsi que les contraintes internes présumées comme hypothèse initiale (cf. supra 4) ou résultant d'arbitrages partiels antérieurs,
- ce qui aboutit à formuler (parmi d'autres) des termes de choix d'aménagement (des utilisations d'eau souterraine, et de la ressource en eau de surface).

7. Au stade final de l'élaboration d'un -ou de plusieurs- schéma(s) d'aménagement des eaux, il appartiendra encore à l'hydrogéologue de concourir à la définition des mesures pratiques visant à réaliser l'aménagement des utilisations projeté et planifié, pour ce qui concerne les eaux souterraines :

7.1. Indications techniques relatives aux actions de stimulation à mettre en oeuvre (aides financières, concours matériels, information), notamment zonage des domaines où l'exploitation des eaux souterraines peut être encouragée ;

→ Exemple : étude réalisée à cette fin par le B.R.G.M. pour l'Agence financière de bassin Loire-Bretagne, sur l'ensemble du bassin, avec une carte à 1/500 000 (77 SGN 357 HYD).

7.2. Spécifications techniques des actions contraignantes à finalité conservatoire ou protectrice (application d'instruments réglementaires, ou de dissuasion financière) : zonage, valeurs-seuils (de débit, de niveau) du régime d'autorisation, règles d'application... ;

→ Exemple : études réalisées par le B.R.G.M. pour plusieurs "S.I.M." pour diagnostiquer l'opportunité d'extension du décret de 1935...

Plus généralement : prise en compte des périmètres de protection de captages d'A.E.P., prescrits ou à prescrire, et à insérer dans les POS, en les complétant par des mesures de protection et de conservation quantitatives.

En phase de concertation et de discussion, notamment entre techniciens et utilisateurs, en vue de préparer des décisions d'adoption d'un schéma d'aménagement, l'hydrogéologue sera souvent amené à jouer le rôle *d'avocat des eaux souterraines* : il s'agit de faire percevoir les possibilités que leur exploitation offre et de défendre les nécessités de leur conservation et protection, mais sans parti pris ni attitude "hydroschizophrène" inverse et aussi criticable que celle de concepteurs d'aménagement exclusivement voués aux eaux de surface...

L'"argumentaire" résumé ci-après, rappelle les principales idées que l'hydrogéologue peut défendre dans les débats avec les non-spécialistes, en les renforçant par des indications numériques précises (hydrauliques, financières) adaptées à chaque cas concret traité.

AIDE-MEMOIRE ARGUMENTAIRE

Les avantages de l'exploitation des eaux souterraines

Par rapport aux prises d'eau superficielle, le captage des eaux souterraines présente un certain nombre d'avantages pour l'approvisionnement en eau.

. Extension dans l'espace

Les nappes souterraines occupent de grandes étendues ce qui facilite leur captage à proximité immédiate des lieux d'utilisation. Leur exploitation est particulièrement bien adaptée pour satisfaire des demandes dispersées (collectivités rurales, exploitations agricoles et industries non raccordées).

. Disponibilité dans le temps

Beaucoup moins sujettes aux aléas climatiques que les eaux superficielles, grâce aux réserves des aquifères, les nappes souterraines, à débit peu variable, offrent des ressources permanentes avec des risques de défaillance très faibles même en cas de sécheresse.

. Qualité

Supérieure à celle des eaux de surface sur le plan sanitaire, et stable, elle ne nécessite que peu -parfois aucun- traitement pour la production d'eau potable. Les caractéristiques chimiques de l'eau souterraine ne sont pas toujours exemptes de défaut vis-à-vis de certains usages, mais leur constance facilite leur traitement correctif le plus souvent moins coûteux que celui des eaux de rivière.

. Faible emprise au sol des équipements

L'occupation du sol par des captages d'eau souterraine est sans commune mesure avec celle des retenues d'eau de surface et des canaux. Une faible consommation d'espace est particulièrement appréciable en zones encombrées ou à sol agricole de grande valeur.

. Rapidité de plein emploi des équipements

Le dimensionnement des ouvrages d'exploitation est plus facile à ajuster aux demandes et peut s'adapter à leur croissance.

. Moindre coût fréquent d'exploitation en énergie

L'amenée d'eau à un lieu d'utilisation non riverain d'un cours d'eau nécessite en général une moindre hauteur de refoulement à partir d'une nappe souterraine locale que depuis la rivière qui la draine.

. Divisibilité des investissements

Ceux-ci sont à la fois plus à la portée des agents économiques individuels (petites collectivités, entreprises industrielles ou agricoles, ménages) et plus facile à étaler dans le temps que ceux nécessités par les équipements hydrauliques de surface. Ils sont aussi plus rapidement amortissables.

. Flexibilité du développement des exploitations

Lorsqu'une planification des exploitations à l'échelle régionale, est souhaitée et organisée, une latitude de correction des projets initiaux est maintenue en cours de réalisation, en fonction des résultats des premières tranches. Celles-ci produisent à la fois de l'eau utilisée et des informations utiles à un "coût marginal" par rapport aux travaux d'étude préalables.

TYPLOGIE DES SYSTEMES AQUIFERES APPLIQUEE

A LEUR GESTION PLANIFIEE

On peut répartir les systèmes aquifères naturels, en fonction des conditions que leur comportement permet ou impose à leur "gestion" technique en 5 types principaux :

1. Aquifères libres étendus, à capacité moyenne ou grande (10^8 à 10^9 m³, ou plus), bien renouvelés (alimentés) mais avec irrégularité saisonnière et interannuelle, drainés par les cours d'eau dont ils entretiennent en général le débit d'étiage.
 - . Leur exploitation extensive est facilitée par les faibles diffusivités qui atténuent les propagations d'influence et par l'extension des aires d'alimentation (\equiv surface).
 - . Leur capacité favorise l'indépendance du régime de variation des prélèvements par rapport à celui des apports naturels de même qu'elle favorise l'atténuation et la dissipation des impacts des prélèvements ou des apports artificiels aux limites (exceptions locales : nappes de faible puissance, ou à réseau de drainage très dense, certains aquifères karstiques).
 - . Principales contraintes :
 - conservation du débit d'étiage des cours d'eau (endogènes surtout) et des sources (à choisir) ;
 - nécessité d'assez amples rabattements régionaux pour capter une proportion appréciable du flux global ;
 - rabattements maximaux à fixer pour restreindre des effets internes (interférences entre captages) ou externes ;
 - conflits possibles entre servitudes de protection de qualité de l'eau et utilisation/occupation du sol.
 - . Exemples : la plupart des aquifères des domaines d'interfluve des bassins sédimentaires : craie, calcaires tertiaires (Beauce) ou jurassiques (Lorraine), sables (Landes) ; aquifères alluviaux étendus (Alsace, Crau).

2. Aquifères libres locaux, subordonnés à des cours d'eau ("nappes alluviales" surtout), à capacité faible et peu utilisable en raison de la proximité de limite à condition de potentiel, réalimentés par eau de surface lors d'exploitation (alimentation induite : effet de rétroaction souvent prédominant vis-à-vis des apports naturels).
 - . Leur exploitation concentrée est facilitée par les réalimentations induites ; coexistences possibles de captages riverains (le ratio prélèvements/apports naturels est sans signification).

- . Principales contraintes :
 - conservation du débit d'étiage de cours d'eau (allogènes) ;
 - inversions de flux aux limites à éviter, lorsqu'elles peuvent altérer la qualité de l'eau (mélange) ;
 - risque de colmatage des berges ;
 - conflits possibles d'occupation du sol et/ou d'utilisation du sous-sol (extraction de granulats ...).
- . Cas particulier : aquifères littoraux à interface eau douce/eau salée, avec la contrainte d'empêcher l'invasion d'eau salée.
- . Exemples : la plupart des aquifères alluviaux des vallées fluviales (basses terrasses), emboîtés ou non dans des aquifères étendus (vallées de la Seine, de la Loire, de la Meuse, du Rhône, etc ..).

3. Aquifères libres, de faible ou moyenne extension, emboîtés dans des formations semi-perméables mais capacitives plus étendues, vis-à-vis desquelles ils constituent des drains naturels.

- . Leur exploitation peut faire appel aux formations encaissantes dont les flux sont peu mobilisables directement, et dont les capacités ont un rôle régulateur : celles-ci ne doivent pas être négligées dans l'évaluation de la ressource.
- . Principales contraintes :
 - rabattements maximaux physiquement possibles ;
 - conservation de débit d'étiage de cours d'eau endogènes (à choisir).
- . Exemples : aquifères alluviaux du Bas-Dauphiné, ou d'Aquitaine, emboîtés dans les formations mollassiques ; aquifères des bassins tertiaires armoricains, emboîtés dans le socle cristallin ou schisteux.

4. Aquifères "semi-captifs" (dans systèmes multicouches), à alimentation naturelle faible (drainance) mais amplifiable par l'effet d'exploitation, et à capacité moyenne à faible peu ou non utilisée.

- . Leur exploitation constitue souvent un moyen pratique de capter indirectement mais plus efficacement une partie du flux d'aquifères libres supérieurs alimentés mais peu productifs.
- . Leur exploitation dispersée est plus appropriée que des prélèvements concentrés en raison des fortes diffusivités qui favorisent les propagations d'influence.
- . Le régime saisonnier des prélèvements peut être indépendant de celui des apports (constant à court terme).

- . Un rééquilibrage entre prélèvements (moyens annuels) et apports (drainance accrue sous l'effet des rabattements déterminés) est possible à moyen terme.
- . Principale contrainte :
 - limitation des prélèvements par secteurs, pour ne pas excéder les rabattements maximaux admissibles (prévenir les interférences entre captages) et conserver les possibilités de rééquilibrage à terme.
- . Exemples : aquifère du Soissonnais du Nord de l'Ile-de-France, aquifère des Sables inférieurs d'Aquitaine occidentale.

5. Aquifères captifs, à alimentation naturelle faible à négligeable, à capacité faible, fortement accrue seulement en cas de "dénoyage".

- . Leur forte diffusivité fait obstacle à de trop fortes concentrations des ouvrages d'exploitation, en favorisant leurs interactions.
- . Leur exploitation est limitée à terme en fonction des rabattements maximaux jugés admissibles (ressource non renouvelable) : ce terme dépend du débit exploité et de son évolution et il peut être choisi.
- . L'exploitation peut néanmoins déterminer localement des rééquilibres par effet sur des limites de réalimentation proches (aquifère libre en continuité avec le réservoir captif). Exemple : certains "paléokarsts couverts").
- . Contrainte possible :
 - conflit d'utilisation du réservoir (stockage de fluide en aquifère, exploitation géothermique).
- . Exemples : aquifère des "Sables verts" (Albien) du Bassin de Paris ; aquifère du Calcaire carbonifère du Nord ; aquifère des Grès du Trias inférieur de Lorraine.

PLAN D'UNE FICHE D'IDENTITE DE SYSTEME AQUIFERE

Principales rubriques (certaines pouvant définir les colonnes d'un tableau)

1. Indice numérique
2. Dénomination
3. Bassin fluvial d'appartenance
(bassin majeur : un ou plusieurs ; utiliser le code général des Agences de bassin).
4. Définition géologique succincte du réservoir :
 - nature (lithostratigraphie)
 - structure : *mono, bi ou multicouche* ; cloisonnements internes partiels éventuels.
5. Géométrie du réservoir :
 - superficie totale A (km²) (dans les limites définies en 9)
 - épaisseur totale (moyenne, variations), (m)
 - dans le cas d'une nappe libre : épaisseur de la zone non saturée (m) (= profondeur de la surface libre/sol)
 - volume aquifère (saturé), (km³).
6. Conditions hydrodynamiques internes :
nappe libre, libre sous couverture semi-perméable perchée (d'extension significative), partiellement libre ou captive (selon les secteurs), captive.
Hauteurs de fluctuation des niveaux les plus fréquentes.
7. Paramètres structuraux (T, S)
valeurs moyennes -ou médianes- et extrêmes connues, pour chaque couche dans le cas de multicouches. T en m³/s.
8. Relations avec le réseau hydrographique interne :
densité du drainage permanent (km/km²) ; existence de cours d'eau allo-gènes infiltrants (pertes) ; appréciation du colmatage.
9. Limites et conditions aux limites
(limites géologiques ou hydrodynamiques, types).

10. Aires d'alimentation, superficies (km²)
- . aire d'alimentation directe de la partie libre (y compris de la nappe libre d'un système multicouche) A1
 - . aire d'alimentation de parties semi-captives (sous couverture semi-perméable affleurante à charge hydraulique plus haute) A2
 - . partie libre sans alimentation directe (sous couverture imperméable ou semi-perméable perchée) A3
 - . parties captives (sans alimentation significative)..... A4
- } somme
A1+A2+A3+A4 = A
(indiquée en 5)

11. Précipitations totales et efficaces (moyennes annuelles ou médianes) :

- mm/an
- apport global en km³/an (pour l'aire A1 de la rubrique 10)
- variabilité connue ou présumée (valeurs de fréquence 0,8, 0,9 ou 0,95 c'est-à-dire dépassées 4 années sur 5, 9/10 ou 19/20).

12. Ecoulement souterrain moyen débité par le système ≡ alimentation moyenne km³/an, m³/s (base d'évaluation de la ressource renouvelable).

13. Méthode d'évaluation de (12) :

Code :

- (1) *extrapolation de lame d'eau d'écoulement souterrain d'un bassin partiel drainant le système ; -*
- (2) *application d'un coefficient d'écoulement souterrain aux précipitations efficaces moyennes calculées ;*
- (3) *déduction d'un bilan d'eau global ;*
- (4) *évaluation tirée d'un modèle de simulation (cohérente avec la distribution des potentiels et des paramètres structuraux).*

14. Réserve régulatrice

ordre de grandeur de la variation de réserve moyenne annuelle, d'après les fluctuations connues des niveaux piézométriques, ou l'analyse du tarissement de sources (hm³ ou km³).

15. Réserve totale (théorique)

volume du réservoir saturé (état moyen) x porosité efficace moyenne (km³), (indiquer une "fourchette" large ...).

16. Réserve "exploitable"

fraction conventionnelle extractible de la réserve totale, en distinguant les réservoirs à nappe libre et à nappe captive :

- aquifère libre : proportion de la réserve totale (par exemple 1/3) avec maximum convenu imposé aux rabattements (km^3) ;
- aquifère captif : volume obtenu en rabattant la nappe partout à une profondeur maximale convenue au-dessous du sol (km^3).

CARTOGRAPHIE DES FACTEURS FAVORABLES ET DES CONTRAINTES

DE L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES *

1. Introduction

L'évaluation de la ressource en eau souterraine potentielle et *exploitable* consiste dans une large mesure à confronter des *effets* d'exploitation projetée à des *contraintes* à respecter, contraintes plus ou moins flexibles qui correspondent à divers objectifs et sont directement liées, soit aux conditions naturelles -c'est-à-dire à l'offre- soit aux demandes.

Les contraintes liées aux conditions naturelles sont pour la plupart localisées dans l'espace, donc *cartographiables* à une échelle adéquate, et exprimables en termes hydrauliques généralement simples (niveau minimal à conserver, flux sortant minimal à conserver ...).

Des cartes indiquant ces contraintes, qui complèteraient les cartes hydrogéologiques descriptives et les cartes thématiques plus spécifiques (cartes de productivité, cartes de coût, cartes de vulnérabilité à la pollution, ...) servant d'ailleurs à les construire, devraient constituer un instrument essentiel pour l'évaluation de la ressource potentielle et exploitable en eau souterraine.

Mais ne représenter que les seules contraintes, c'est-à-dire les *facteurs limitants*, aurait pour inconvénient de mettre seulement l'accent sur ces derniers : ce serait trop "défensif" et irait à l'encontre d'une politique de *promotion* de l'utilisation des eaux souterraines. A l'inverse, ne représenter que des indications sur les facteurs attractifs de l'"offre" serait trop optimiste. Aussi, paraît-il opportun de *réunir sur une même carte* *** des indications se rapportant :

- aux facteurs attractifs (= conditions favorables)
- aux contraintes (= facteurs limitants).

** Cette annexe dérive de la note technique 78/13 HYD du 13/07/1978 (J. MARGAT)

*** Exemples d'essai dans ce sens :

- la figure 6 de la communication au colloque de Nice (1977) de H. ASTIE et J. CHAMAYOU ("La nappe éocène dans la région économique d'Aquitaine" - T. I, p. 70).
- la carte de "zonage des productivités probables des ouvrages d'exploitation des eaux souterraines" du bassin Loire-Bretagne, réalisée à 1/500 000 pour l'Agence financière de bassin Loire-Bretagne par le Département Hydrogéologie (Oct. 1977).

2. Bases d'une légende possible : information à représenter

2.1. Indications sur des facteurs favorables

- a) Limites de système aquifère à condition de potentiel, constituées par des cours d'eau exogènes -ou des rives de lac- à eau de bonne qualité et à débit très important par rapport à celui que leur apporte le système considéré, donc à large possibilité d'accroissement des prélèvements déterminant une réalimentation induite (ex. : le Rhône)
- b) Zones de forte *productivité* (= forte transmissivité locale) créée à la fois par la perméabilité et la puissance aquifère.
A définir relativement à chaque aquifère, avec un minimum général absolu à convenir.
- c) Zones de meilleure *accessibilité* des aquifères, c'est-à-dire de profondeur minimale des niveaux piézométriques et d'épaisseur "optimale" des réservoirs (assez pour assurer une forte productivité, pas trop pour éviter que des forages à pénétration totale soient trop profonds...).
Notion à "croiser" avec la précédente ; cf. la démarche qui a abouti au zonage des coûts de production...
- d) Zones de *forte alimentation* naturelle de nappes libres (moyenne annuelle) : zones à P efficace (moyenne annuelle) supérieures à la moyenne nationale, ou plutôt aux moyennes des grandes zones climatiques.
- e) Zones à "*suralimentation*" par des actions humaines (irrigation classique, certains aménagements hydrauliques). Cf. Zones figurées sur la "carte des débits des nappes" de 1970. Exemple : nappe de la Crau.
- f) Zones où il serait avantageux de capter au maximum l'eau (de bonne qualité) de certains aquifères affluant à des cours d'eau de mauvaise qualité -notamment polluée- ou à la mer, avant qu'elle se mélange à ceux-ci mais assez en amont des lignes ou points d'émergence afin de ne pas provoquer d'inversion de flux aux limites (cf. infra contrainte 2.2. (a)). Exemple : Aquifères crayeux en amont de la basse Seine.
Mentionner en particulier le cas des massifs karstiques côtiers à exutoires littoraux ou sous-marins.
- g) Il pourrait être utile de signaler certaines zones d'aquifères captifs proches des parties libres des réservoirs, où des captages peuvent réunir des conditions optimales, en bénéficiant à la fois de la forte diffusivité de l'aquifère captif (qui étale mieux l'influence) et de la proximité de l'aquifère libre dont la capacité peut intervenir et qui permet un régime d'équilibre.

Cas des paléokarsts sous couverture, notamment.

2.2. Indications sur des contraintes (facteurs limitants)

- a) Limites de système aquifère à condition de potentiel, constituées par des cours d'eau ou des rives de lac à eau de mauvaise qualité, ou par un littoral marin, où l'appel d'eau par réalimentation induite n'est admissible que dans une faible proportion ou est interdit. (Nécessité de stabiliser une interface eau douce/eau salée).
- b) Limites de système aquifère à condition de potentiel constituées par des cours d'eau (exogènes ou endogènes, y compris des points singuliers constitués par des *sources*) de qualité normale mais dont le débit d'étiage doit conserver une valeur minimale, ce qui restreint la possibilité de provoquer des réalimentations induites par des captages riverains et même dans une certaine mesure de trop accroître une exploitation générale de l'aquifère qui porterait préjudice au débit du cours d'eau. (Obligation de maintenir une affluence minimale de l'aquifère au cours d'eau en période d'étiage ou un débit de source minimal).
- c) Limites des eaux douces dans certains réservoirs contenant en partie des eaux saumâtres ou salées : l'exploitation de l'eau douce à proximité de ces limites (assimilables à des "fronts" stables naturellement, mais déplaçables) doit être restreinte pour ne pas provoquer de déplacement des eaux salées.

Plus généralement, on pourrait représenter les domaines à eau de mauvaise "qualité générale".

- d) Dans le même esprit que ci-dessus (c), aire d'alimentation de *sources captées* dont le débit doit être conservé (en admettant que cette aire est le domaine où des prélèvements peuvent le plus avoir un effet réducteur du débit, sans exclusive de possibilité d'influences d'actions externes).
- e) Zones de *faible productivité* (= faibles transmissivités locales) due à la fois aux faibles perméabilités et aux faibles puissances aquifères interdisant un rabattement appréciable : conditions à l'opposé de celles envisagées en 2.1. (b). Echelle relative à définir.
- f) Zones de moindre *accessibilité*, c'est-à-dire de profondeur maximale des niveaux piézométriques et/ou des toits d'aquifères captifs profonds (selon une échelle relative à choisir).

Même remarque que plus haut sur le croisement de ce zonage avec celui des productivités (d) : conditions à l'opposé de celles envisagées en 2.1. (c).

- g) Zones à *aquifère discontinu* -karstique ou semi-karstique- où le "risque d'échec" de forages n'est pas négligeable.

N.B. : Elles coïncideront en général avec les zones à nappe libre à niveaux très profonds (> 100 m...).

- h) Zones à *faible alimentation* naturelle (de nappe libre), notamment zones où des conditions réduisent l'alimentation locale par rapport à la moyenne régionale (formations superficielles semi-perméables épaisses, urbanisation ...).
- i) Zones soumises à des contraintes de *conservation de niveau* des nappes (en sus de (c) et indirectement (b) plus haut) :
- contrainte agricole : nappe peu profonde utilisée par la végétation (arboriculture) ou exploitée par les agriculteurs de manière extensive ;
 - contrainte écologique : conservation de plan d'eau de surface lié à un aquifère libre, qu'un rabattement régional ferait disparaître, au moins périodiquement ;
 - contrainte géotechnique : prévention d'affaissement du sol préjudiciable à des constructions.
- j) Zones à *conflit* d'occupation du sol -ou d'utilisation du sous-sol- actuel ou potentiel, où l'exploitation des eaux souterraines peut se trouver en compétition avec :
- l'urbanisation, notamment souterraine,
 - l'extraction de matières premières minérales (granulats notamment),
 - l'occupation du sous-sol (construction souterraine, stockage souterrain).
- k) Zones à exploitation d'eau souterraine intensive et concentrée, ou une croissance des prélèvements serait contraire à la conservation des débits unitaires (par ouvrage) et des coûts de production des installations existantes (zones liées notamment aux domaines d'application du décret de 1935 et de ses extensions).

3. Suggestion pour les modes de représentation

Envisager une légende "bi-couleur" faciliterait la perception claire des deux groupes d'informations, par exemple *vert* et *rouge* :

- vert : facteurs favorables, attractifs,
- rouge : facteurs limitants, contraintes.

Cette opposition simple pourrait se combiner avec la possibilité de distinguer les informations relatives aux nappes libres ou "premières nappes" d'une part, aux nappes captives plus profondes d'autre part, ce qui serait souvent nécessaire, par exemple :

	Contraintes (facteurs limitants)	Facteurs attractifs
Nappes libres	rouge	vert vif
Nappes captives	orangé	vert foncé, vert bleu

4. Echelle

L'échelle la plus significative n'est peut-être pas la même pour les différentes informations à représenter envisagées.

Des essais sont à entreprendre pour rechercher le -ou les- compromis approprié(s).

A priori, il semble qu'on doive s'orienter vers des cartes à échelle moyenne et petite (cartes régionales à 1/250 000 à 1/500 000, et essai de synthèse nationale à 1/1 000 000).

IMPACTS AMENAGEMENT/EAUX DU MILIEU NATUREL

Toute action -d'aménagement, d'exploitation- sur le milieu naturel détermine des effets qui :

- soit correspondent aux objectifs visés (\equiv résultats voulus de l'action) ;
- soit sont des conséquences directes ou indirectes, non voulues (\equiv effets externes).

On désigne communément par *impact* ces effets externes.

Tout effet direct ou indirect peut être décrit comme modification d'élément(s) sensible(s) du milieu naturel en termes physiques, quantifiables ou non. Les relations de cause à effet entre chaque type d'action sur le milieu et diverses variables physiques qui caractérisent les éléments sensibles du milieu sont présentées sous forme d'une "matrice d'incidences", classées selon la nature et le sens de la modification (accroissement, diminution ou incidence négligeable pour les variables quantifiables). Ces incidences sont indistinctement des impacts ou des effets voulus (cf. supra).

Les actions sur le milieu s'adressent soit directement à l'eau, soit à d'autres éléments du milieu dont les modifications peuvent elles-mêmes, réagir ou non sur les eaux. De même les éléments sensibles du milieu sont les eaux ou d'autres (sol,...).

Les incidences relatives à l'eau se répartissent de ce fait en 3 groupes :




- effets sur les eaux d'actions directes sur l'eau, subdivisibles eux-mêmes en :

action → eau de surface /	incidence sur eau de surface
action → eau de surface /	incidence sur eau souterraine
action → eau souterraine /	incidence sur eau de surface
action → eau souterraine /	incidence sur eau souterraine

- effets sur les eaux (superficielles ou souterraines) d'actions sur d'autres éléments du milieu ;
- effets sur d'autres éléments du milieu d'actions sur l'eau (superficielle ou souterraine).

N.B. Les incidences mentionnées dans la matrice -dont l'identification dans des cas réels est l'objet des "études d'impact"- comprennent à la fois des effets directs (exemple : effet d'un prélèvement d'eau souterraine sur les niveaux de la nappe exploitée) et des effets conséquents de 2ème ou nème ordre (exemple : conséquences des modifications des niveaux d'une nappe sur le débit de cours d'eau de surface, sur la qualité de l'eau souterraine, ou sur la stabilité du sol).

MATRICE D'INCIDENCES

- . Actions → eau du milieu naturel/incidences sur les eaux cadre 
- . Actions → eau du milieu naturel/incidences sur autres éléments du milieu cadre 
- . Actions → autres éléments du milieu naturel/incidences sur les eaux cadre 

- + Accroissement
- Diminution
- 0.ε Incidence nulle ou négligeable
- Δ Différence qualitative, modification de structure

Eléments sensibles du milieu naturel (ENVIRONNEMENT)		ACTIONS SUR LES EAUX DU MILIEU NATUREL															ACTIONS SUR D'AUTRES ELEMENTS DU MILIEU NATUREL																		
		ACTIONS SUR LES EAUX DE SURFACE, AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES															ACTIONS SUR LE SOUS-SOL, TRAVAUX SOUTERRAINS																		
		ACTIONS DIRECTES SUR L'EAU SOUTERRAINE															ACTIONS MODIFIANT LES CONDITIONS DE SURFACE, AMÉNAGEMENTS, CONSTRUCTIONS, OCCUPATION DU SOL																		
Actions sur le milieu naturel (AMENAGEMENT, EXPLOITATION)		Prise, dérivation	Restitution, rejet	Canalisation, endiguement	Modification du profil longitudinal (seuil, barrage)	Surcreusement de lit, dragage	Réservoir d'accumulation, plan d'eau artificiel	Canal	Assainissement, drainage du ruissellement	Irrigation	Epandage d'eau usée	Prélèvement, captage	Drainage, exhaure	Injection, alimentation artificielle (avec eau de caractéristiques proches de celles de l'aquif.)	Rejet, injection d'effluents (d'eau de caractéristiques ≠ celles de l'aquif.)	Stockage de fluide en aquifère	Excavation à ciel ouvert (carrère, fouille, tranchée)	Excavation souterraine (mine, galerie, tunnel)	Urbanisme souterrain	Traitement du sous-sol (étanchement, consolidation, fondation, ...)	Extraction de fluides (hydrocarbures)	Stockage souterrain (en cavité)	Enfouissement de déchets	Modification de la topographie (remblais, déblais, banquettes, ...)	Urbanisation, zones industrielles, routes, aéroports	Modification du couvert végétal naturel (forestation, déforestation, ...)	Actions anti-érosion, conservation des sols	Agriculture, traitement du sol (labour, ...)	Epandage d'engrais, pesticides, herbicides, ...	Stockage superficiel de substances utiles polluantes	Transport de substances utiles polluantes	Stockage superficiel de déchets, décharges, terrils	bassin de décantation, marais salants		
EAUX DE SURFACE	1. Niveau	-	+	+ε	+	-	+	+ -	-	+ε	+ε	-	-	+ε	+ε	ε	ε	ε	ε	0	0	0	0	+ -	+ -	+ -	+ -	ε	ε	ε	ε	ε	+		
	2. Débit moyen	-	+	ε	-ε	ε	-ε	+ -	+	+	+	-	-	+	+	ε	ε	ε	ε	0	0	0	0	+ -ε	+	+ -		-	ε	ε	ε	ε	-ε		
	3. Débit d'étiage	-	+ε	+ε	+ -	+ -ε	+ -	+ -	+	+ -	+	-	-	+	+	ε	-ε	-ε	-ε	-ε	0	0	0	+ -	+ -	+ -	+	-ε	ε	ε	ε	ε	-ε		
	4. Caractéristiques physiques, chimiques de l'eau	Δε	Δ	ε	Δε	ε	Δε	Δε	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δε	Δ	ε	Δε	Δε	ε	ε	0	Δ	Δε	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	
	5. Structure du réseau hydrographique	Δε	ε	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ						Δ	Δ	Δ	0	0	0	0	Δ	Δ	Δε	Δ	Δε	ε	ε	ε	ε	ε	Δ	
EAUX SOUTERRAINES	6. Niveau (+ : relèvement, - : abaissement)	-	+	+ -	+ -	-	+	+ -	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+ -	+ -	-	+ -	ε	+ -	+ -	+ -	+ -	- +	ε	ε	ε	ε	+ -ε		
	7. Flux unitaire local **	-	+	+ -	+ -	-	+	+ -	-	+	+	+ -	+ -	+	+	+ -	-	-	+ -	+ -	-	+ -	ε	+ -	+ -	+ -	+ -	- +	ε	ε	ε	ε	+ -ε		
	8. Transmissivité***, productivité d'ouvrage de captage	-	+	+ -	+ -	-	+	+ -	-	+	+	-	-	+	+	+ -	-	-	+ -	+ -	-	+ -	ε	+ -	+ -	+ -	+ -	- +	ε	ε	ε	ε	+ -ε		
	9. Alimentation des nappes	-ε	+ε	+ -	+ -	-ε	+	+ -	-	+	+	+ -	+ -	+	+	ε	- +	- +	-ε	-ε	ε	-ε	ε	+ -	-	+ -	+ -	-	ε	-ε	ε	-ε	-		
	10. Flux sortant aux limites **	+ε	-ε	-	+ -	+ε	+ -	+ -	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	ε	-	ε	-	+ -	-	+ -	+ -	-	ε	-ε	ε	-ε	-		
	11. Caractéristiques physiques, chimiques de l'eau.	ε	Δ	Δ	Δ	ε	Δ	Δε	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δε	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	
12. Caractéristiques physiques des aquifères (paramètres)	ε	ε	Δ	Δ	Δε	Δε	Δε	Δε	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δε	Δε	Δε	Δε	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	Δ	
13. Structure de réservoir aquifère (situation de limites, création ou effacement de limites)	Δε	ε	Δ	Δ	Δε	Δε	Δε	ε	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	Δ	
SOL	14. Humidité	-ε	+ε	+ε	+ε	-ε	+ε	+	-	+	+	-	-	+	+	ε																			
	15. Hauteur de la zone non saturée	+ε	+ε	-ε	-ε	+ε	-	-	+	-	-	+	+	-	-	ε																			
	16. Stabilité (altitude)	0	0	ε	ε	Δε	Δε	ε	Δ	ε	ε	Δ	Δ	Δ	Δ	ε																			

** Variable liée au niveau (6), mais aussi au gradient de charge hydraulique local qui peut être modifié indépendamment du changement de niveau local.
 *** Variable liée essentiellement au niveau (6).

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE SUR

L'AMENAGEMENT DES EAUX

- ANDOLZ J., CUSTODIO E., SUAREZ M., VILARO F. (1976) - Hidroeconomia y planificación hidraulica
(in "*Hidrología subterránea*" - CUSTODIO E., LLAMAS M.R., *édit.*, T. II, sec. 20, p. 2028-2088 - Ed. Omega, Barcelone)
- BETHEMONT J. (1977) - De l'eau et des hommes - Essai géographique sur l'utilisation des eaux continentales
(Bordas, 280 p., Paris)
- BISWAS A.K. & Al. (1973) - Systems analysis to water management
(Mc Graw-Hill, New-York)
- CHABROL D., CRIQUI P. (1976) - Eléments pour une nouvelle approche de la gestion de l'eau dans les pays méditerranéens
(Options méditerranéennes, n° 31, p. 90, Paris)
- DEZERT B., FRECAUT R. (1978) - L'économie des eaux continentales - Aménagement et environnement
(S.E.D.E.S. - C.D.U., 185 p. - Paris)
- DURAND-DASTES F. (1977) - Systèmes d'utilisation de l'eau dans le monde
(S.E.D.E.S. - C.D.U., 182 p. - Paris)
- DREYFUS A., HUBERT P., RAMAIN P. (1975) - "Prolo" : modèle de prévision pour l'aménagement et la gestion intégrés d'un grand bassin hydrographique
(La houille blanche, n° 1, Grenoble)
- EMSELLEM Y. (1973) - Planification et gestion intégrée des ressources en eau - (I.F.A.C. *Sympos., Control Water Resource Syst.*, p. 1-33, Haïfa)
- EMSELLEM Y. (1977) - La gestion intégrée des ressources en eau
(Soc. Hydrot. Fr., Sess. Com. tec. n° 106, Nov. 1976, La Houille blanche - 2/3 - pp. 243-251 - Grenoble)
- ERHARD-CASSEGRAIN A., MARGAT J. (1978) - L'eau, matière première
(B.R.G.M., 78 SGN 674 HYD)
- ERHARD-CASSEGRAIN A., MARGAT J. (1979) - Introduction à l'économie générale de l'eau (B.R.G.M., 79 SGN 329 HYD)
- ERHARD-CASSEGRAIN A., MARGAT J., MONITION L. (1979) - Aspects économiques dans l'évaluation des impacts des aménagements sur l'environnement.
(B.R.G.M., 79 SGN 483 HYD)

- HALL W.A., DRACUP J.A. (1970) - Water Resources Systems Engineering.
(*Mc Graw Hill Book Co, 384 p., New-York*)
- LEFROU C., BRACHET J. (1973) - Examen des méthodes d'établissement des bilans des ressources et des besoins en eau. Incidence des problèmes de qualité sur ces bilans.
(*Tec. sc. municip./L'eau, n° 3 mars 1973, p. 85-94, Paris. Rapport au Séminaire du Comité des problèmes de l'eau de la C.C.E., Budapest, 1972*)
- LEFROU C. (1974) - La politique française de gestion des ressources en eau.
(*Tec. sc. municip. - L'eau, n° 6, p. 244-251, Paris*)
- MANUELLAN G. (1977) - Pertes et gaspillage d'eau : utilité d'une politique volontariste d'épargne de la ressource en eau.
(*Génie rural, spécial Eau, 11-12, p. 63-67, Paris*)
- MARGAT J., ERHARD-CASSEGRAIN A., DREYFUS P. (1979) - Quelles ressources en eau peut-on et veut-on "utiliser" ?
(*Actes journées "L'eau, la recherche, l'environnement" - Minist. Env. cadre de vie, Limoges, oct.*)
- MURRAY C.R. (1969) - The critical balance - Supply versus demand in water use.
(*Ground Wat. Res. Inst. Quart. v. 2, n° 2, pp. 14-15*)
- O'LAOGHAIRE D.T., HIMMELBLAU D.M. (1974) - Optimal expansion of a water resources system.
(*Acad. Press, 273 p., New-York*)
- ROGERS P., BORDEN R., LOTTI C. (1978) - System analysis and modeling techniques applied to water management.
(*Natural Resources Forum, 2, p. 349, 358 - U.N., New-York*)
- VAILLANT J.R. (1977) - Accroissement et gestion des ressources en eau
(*Eyrolles, Coll. B.C.E.O.M., 246 p. - Paris*)
- VALIRON F. (1979) - Les schémas d'aménagement des eaux en France.
(*Ec. Nat. Ponts et chauss., Sess. form. continue, janv. 1979, Aix-en-Provence et B.R.G.M., dép. hydrogéologie, sess. form. int., juin 1979, Orléans*)
- ANONYME (1971-1974) - Livres blancs des agences financières de bassin, et le Livre blanc de l'eau en France.
(*La Doc. Fr., coll. Envir., n° 15, 25 et coll. Trav. Rech. prospect., n° 15, 18, 21, 22, 27 - Paris*)
- ANONYME (1974) - Manuel pour l'établissement des bilans des ressources et des besoins en eau.
(*Nations-Unies, Comm. écon. Europe, E.C.E./Water/5, New-York*)

ANONYME/META SYSTEMS INC. (1975) - Systems analysis in water resources planning.
(*Wat. inf. Center Inc., 393 p. Washington*)

ANONYME (1977) - Politiques et instruments de gestion de l'eau/Water management policies and instruments.
(*O.C.D.E., 157 p., Paris*)

ANONYME (1978) - Schéma d'aménagement à long terme, de développement des ressources en eau et de la reconquête de leur qualité.
(*Doc. adopté par le C.I.A.N.E. du 14/02/1978, distrib. par Minist. Envir. cadre de Vie, Mission interminist. Eau - 39 p. - Neuilly-sur-Seine*)

COLLECTIF (1976) - La planification à long terme de la gestion des ressources en eau.
(*N.U./C.E.E., Actes du Séminaire de Zlatni, Bulgarie, mai 1976 - N.U./E.C.E. Water/15, 3 vol. 281 p. - Genève*)