



BRGM

la ressource en eau souterraine revisitée

de sa définition à son évaluation et à sa gestion



la ressource en eau souterraine revisitée

de sa définition à son évaluation et à sa gestion

J. Margat

juillet 1987
87 SGN 524 EAU

AVERTISSEMENT

Une certaine pratique d'exposés généraux, introductifs ou condensés, sur le thème des **ressources en eau souterraine**, dans divers cadres universitaires ou post-universitaires*, a rodé au cours des dernières années un corps d'idées et d'analyses que l'on a cru pouvoir servir aux hydrogéologues professionnels sous la forme compacte et discursive présentée ici.

Dix ans après le colloque de Nice, "point fixe" marquant sur ce sujet, des regards avec plus de recul, quelques expériences, cheminements et incursions périphériques, ainsi que l'empreinte de bonnes ou mauvaises fréquentations, ont conduit l'auteur à infléchir ou à élargir certaines analyses, à préciser des concepts. Quelque évolution de langage s'ensuit par rapport aux formulations des ouvrages antérieurs (années 70) dont bien des aspects sur ces sujets sont dépassés.

Le lecteur ne trouvera peut-être pas dans les pages qui suivent "tout ce qu'il a toujours voulu savoir sur la ressource en eau souterraine sans avoir jamais osé le demander", mais matières à réflexions, à remises en questions et en perspective, sans oublier des portes ouvertes à enfoncer un peu plus...

* Université de Bordeaux 3 / U.E.R. Aménagement et Ressources naturelles, Institut de Géodynamique (1979-1986).

Centre de formation international à la gestion des ressources en eau / CEFIGRE (1981-1987).

Conférences à l'Institut d'Hydrogéologie de Chine (Pékin, Shijiazhuang, 1981).

Université de Pau et des Pays de l'Adour / DEA Géologie des matières premières minérales et énergétiques (1982-1984).

Ecole nationale des Ponts-et-Chaussées / Session de formation continue sur la Gestion des eaux (1982).

Conférence du Convegno internazionale su Acqua e Territorio de l'Associazione fra i Geologi Italiani (Milan 1983).

Séminaire de l'Administration de l'Hydraulique du Maroc sur la gestion et la planification des eaux (1984).

Université de Neuchâtel (Suisse), Centre d'Hydrogéologie (1986).

Séminaire de l'Administration de l'Hydraulique du Maroc sur l'Evaluation, aménagement et gestion des ressources en eau (1986).

Stage CIFACE du Ministère de la Coopération et du Développement sur la gestion et mobilisation des eaux souterraines (1986).

Table des matières

	Pages
PREAMBULE	
1 - DEFINIR	1
1.1 - Emergences du concept de ressource en eau souterraine	1
1.2 - Ressource en eau souterraine et système aquifère : approche systémique	3
1.3 - Ressource renouvelable et non renouvelable en eau souterraine. Flux et stock : mode d'emploi	7
1.4 - Types de système de ressource en eau souterraine	10
2 - EVALUER	13
2.1 - La ressource est relative à la demande	13
2.2 - Contraintes à identifier	17
2.3 - Ressource potentielle et ressource exploitable en eau souterraine	18
2.4 - Ressource en qualités	18
3 - GERER	20
3.1 - Théâtre physique	21
3.2 - Décor institutionnel : le droit	21
3.3 - Actions et acteurs	22
3.4 - Objectifs de gestion	23
3.5 - Contraintes et servitudes	25
3.6 - Modalités et instruments de gestion	26
3.7 - Instruments d'aide aux décisions de gestion	27
3.8 - Conditions d'une gestion réelle des eaux souterraines	28
3.9 - Evaluer la gestion ?	29
ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE	31

PREAMBULE

S'il est un enseignement que tout hydrogéologue praticien peut tirer de son expérience, avec un certain recul, c'est qu'il doit consacrer une part appréciable de ses efforts au dialogue avec les utilisateurs de l'eau, les maîtres d'ouvrage aussi bien que les administrateurs, autant qu'avec la Nature. Vis-à-vis de ces acteurs l'hydrogéologue à une fonction pédagogique non seulement utile mais nécessaire, car sa matière -l'eau souterraine-, partie la moins visible du cycle de l'eau dans la nature, est encore largement méconnue et sujette à beaucoup d'idées reçues mais souvent fausses dans l'esprit du public, et par suite à bien des actions mal conçues et mal conduites, causes de mécomptes ou de nuisances. Dans ce dialogue l'hydrogéologue n'a pas seulement à apporter mais à gagner : s'il doit s'efforcer de faire comprendre un certain nombre de réalités physiques, il doit lui-même comprendre différentes conditions et réalités pratiques et socio-économiques, voire culturelles.

Au coeur de ce dialogue, parmi les questions apparemment simples mais encore souvent mal posées et mal comprises -faute en partie de langage et de concepts communs-, matières donc à éclaircissement des idées, la plus générale et la plus focale est sans doute celle de la ressource en eau souterraine, notion qui se situe bien au carrefour de l'hydrogéologie et de l'économie et de l'administration des eaux, et sujet du présent exposé : succession de réflexions et d'idées-pivots pouvant ouvrir à débat, plus que "cours" structuré.

* *
*

L'eau dans la nature, en tous lieux et en tous temps, aussi bien que l'eau dont on se sert à toutes fins utiles -ou dont parfois on se garde- sont des réalités physiques : objets d'observations, de mesure, de connaissance, sujets d'actions, d'appropriations, d'usages et de soins,...

La ressource en eau est un concept : c'est une certaine (ou incertaine...) idée que se fait l'homme de l'eau du milieu naturel en fonction à la fois de ce qu'il en sait, de ce qu'il en fait et de ce qu'il en attend, peut et veut en faire.

La ressource en eau n'est pas un concept scientifique mais pratique et économique : la ressource en eau en général comme ses catégories tout aussi conceptuelles nées de regards classificateurs* -donc simplificateurs et diviseurs-, telles que la ressource en eau souterraine, reflet particulier d'une séparation commode mais toute relative et souvent arbitraire selon les milieux où l'eau "se trouve".

Ainsi, autant il importe que les praticiens de l'exploitation d'eau souterraine ou les responsables de sa conservation et de sa protection appuient leurs actions et leurs décisions sur des connaissances scientifiques, autant les spécialistes de

* Comme l'a bien dit Paul VALÉRY "... la sélection, la classification, l'expression des faits qui nous sont conservés ne nous sont pas imposés par la nature des choses...".

l'acquisition et de l'expression de ces connaissances -les hydrogéologues- doivent être conscients que l'étalage de celles-ci, la description chiffrée des caractères physiques de l'occurrence et du régime des eaux souterraines, des potentiels fonctionnels de ces eaux, de la structure et du comportement des aquifères, ne constituent pas à eux-seuls une définition et encore moins une évaluation de la ressource qui doit se référer aussi à des critères d'utilisation.

La ressource en eau souterraine : un thème aussi vaste et complexe peut s'aborder et se parcourir de bien des manières sans qu'aucun ordre ne s'avère meilleur a priori. Puisqu'un exposé linéaire doit bien adopter un fil directeur, l'itinéraire de ce parcours s'organisera en trois étapes correspondant de manière un peu scolaire aux trois volets du triptyque annoncé par le titre : définir, évaluer, gérer la ressource en eau souterraine. En commençant par les mettre en questions :

- qu'entend-on par ressource en eau souterraine ? Comment la définir et la décrire, autrement dit la connaître ?
- que comprend son évaluation ?
- en quoi consiste sa gestion ?

On verra à chaque étape que ces opérations sont relatives à des choix et à des références :

- **définir** implique le choix de paramètres et une référence spatio-temporelle,
- **évaluer** implique le choix de critères et se réfère à une échelle de valeurs,
- **gérer** implique le choix d'objectifs et se réfère à des acteurs.

Enfin ces opérations, on le montrera chemin faisant, se relient étroitement, sont interdépendantes et d'une certaine manière "emboîtées" plutôt qu'enchaînées : la définition et la description sont englobées dans l'évaluation et celle-ci à son tour dans la gestion.

* *

*

1 - DEFINIR

Les notions de ressource en général, de "ressources naturelles" en particulier et parmi celles-ci de ressource en eau, s'enracinent dans notre culture générale. Pour définir la ressource en eau souterraine une démarche logique et classique pourrait, par des effets de "zoom" successifs, passer du général au particulier, sans éluder une interrogation initiale sur les rapports de l'humanité à la Nature, et plus spécialement à l'eau dans la Nature... Sans mésestimer l'intérêt d'une telle dissertation on peut penser qu'elle risque de ne conduire qu'à des définitions théoriques. Aussi préférera-t-on une démarche plus pragmatique en prenant comme base de départ la genèse du concept de ressource en eau souterraine dans l'esprit des opérateurs de son exploitation, de ses utilisateurs, avant d'en venir à son extension et à sa formalisation par les hydrogéologues...

1.1 - Emergence du concept de ressource en eau souterraine

- Dans l'esprit de l'exploitant d'eau souterraine la notion de ressource est étroitement associée à un fait d'expérience et à une interrogation :
 - Fait d'expérience qu'une production d'eau initiale peut diminuer avec le temps ou exiger un effort croissant pour maintenir son débit, que l'"eau souterraine peut s'épuiser" -sans toujours bien démêler ce qui est dû au régime naturel local des eaux souterraines d'avec les conséquences de l'exploitation elle-même-. Ce qui est compris généralement comme l'effet d'un excédent des prélèvements sur le renouvellement naturel local de l'eau et qualifié de "surexploitation" : la notion de ressource apparaît très liée à celle de "possibilité" d'exploitation en équilibre. L'estimer répond au souci de prévenir ou de réparer le déséquilibre imputable à une exploitation excessive.
 - Interrogation sur le devenir d'une production d'eau, motivée par le souci de sécurité d'approvisionnement : le débit initial obtenu par un captage réalisé, ou attendu d'un captage projeté, est-il ou sera-t-il durable, pérenne ? Et, en réciproque : quel débit maximal est-il possible de capter sans défaillance à long terme, en un site donné (sans limitation due au mode technique d'exploitation) ? Ce qui rejoint la préoccupation précédente de savoir sur quoi l'on peut compter, jusqu'où "il est possible de ne pas aller trop loin" lorsqu'on exploite l'eau souterraine, sans provoquer de rupture de stock, plus trivialement sans "épuiser la nappe".

La notion de ressource en souterraine implique donc en naissant l'idée de facteur limitant naturel dans une optique d'équilibre à long terme et elle est d'essence prévisionnelle.

Relativiser "une ressource" en eau souterraine à un site de captage localisé et à un régime d'exploitation particulier revient cependant à analyser le milieu naturel avec l'optique "micro-économique" de l'exploitant. Cette ressource parcellaire est en quelque sorte une "micro-ressource", à distinguer de la ressource considérée à l'échelle macro-économique d'une analyse plus globale.

Avant d'y venir (cf. infra 1.2), trois remarques sont à faire à ce stade primitif :

- (1) - L'exploitant perçoit déjà -sans l'explicitement complètement- la distinction entre la productivité d'un ouvrage d'exploitation (combinaison de la performance de l'appareil et de l'aptitude conductrice locale de l'aquifère, autrement dit de la transmissivité pour l'hydrogéologue) et ce qui assure ou, au contraire, peut empêcher la permanence de la production, la ressource ("micro-ressource") relative à cette échelle. Cette distinction demeure fondamentale et elle est très spécifique aux eaux souterraines : alors qu'il est impossible de dériver d'une rivière par une prise au fil de l'eau plus que son débit à tout moment en ce lieu, un captage d'eau souterraine peut tirer d'un aquifère plus que son "débit local"* dès que la productivité des ouvrages est suffisante, car il peut soutirer aussi l'eau de la réserve -et c'est même ce qu'il fait toujours dans une phase initiale plus ou moins longue-.

Alors qu'un cours d'eau n'est qu'un conducteur, un aquifère est à la fois un conducteur et un réservoir : ce fait fondamental et banal pour les hydrogéologues -qui l'expriment par le couple des paramètres classiques de transmissivité et d'emménagement- n'est pas évident pour l'exploitant qui tend à transposer aux eaux souterraines l'expérience plus visible des eaux superficielles et à ne raisonner qu'en termes de flux, de "débit".

- (2) - Dès sa genèse la notion de ressource ne se réduit pas à la seule dimension physique d'un flux : elle inclut celle d'effort requis, pour le mobiliser, par les conditions d'accès (traduit en coût d'investissement et d'exploitation), ainsi que les caractères déterminant les qualités de l'eau produite. La ressource en eau souterraine -comme toute ressource en eau- est d'emblée un concept multi-dimensionnel, et ses dimensions correspondent bien à celles de la demande en eau de l'exploitant (on y reviendra).
- (3) - La ressource en eau souterraine est bien conçue dès son origine en étant subordonnée et relativisée à l'exploitation de l'eau et non comme un "produit naturel" préexistant et définissable a priori, un "don de la terre" à récolter.

Le concept de ressource naît dans l'esprit des exploitants comme fruit de leurs réflexions et de leurs questions sur les conséquences de leurs actions qui modifient l'état de la nature, bien plus qu'il ne procède d'observations de la nature "intacte" (et cette remarque est vraie des ressources en eau en général et sans doute de bien d'autres ressources naturelles...).

Le contenu moderne de la notion de ressource en eau souterraine conservera, comme on le verra, tous ces aspects.

* Notion évidemment très floue si elle ne se réfère pas à une section d'écoulement de nappe définie : elle résulte de l'idée confuse qu'un puits en production capterait simplement un flux préexistant "passant" par son site, alors qu'il transforme l'écoulement dans l'aquifère à l'entour, ce que l'exploitant perçoit mal... Dans l'esprit du public la représentation de la circulation des eaux souterraines par des "veines d'eau" -réelles seulement dans les aquifères discontinus- est généralisée et encore très ancrée. Ceci explique cela.

Cette approche initiale et locale de la ressource en eau souterraine est à l'origine de toute une lignée conceptuelle dont le "Safe Yield" (Meinzer, 1920) fut la principale expression : le débit maximal exploitable, par un ouvrage isolé de caractéristiques définies, en toute "sécurité" -donc en régime d'équilibre dynamique- est l'objet classique d'expertise de l'hydrogéologue qui est aujourd'hui mieux armé pour le chiffrer de manière fiable dans la plupart des cas.

En pratique, cette approche pouvait suffir tant que l'exploitation d'eau souterraine était extensive, s'en tenant à un stade de "cueillette" par des ouvrages puisant peu et n'interférant pas de manière perceptible, ou encore lorsqu'elle s'opérait par des ouvrages collecteurs à débit réglé par le régime naturel des nappes souterraines :

- Les productivités locales faibles ou médiocres de certains aquifères (quelques m^3/h) les immunisent "naturellement", de toute façon, contre des surexploitations qui exigeraient une prolifération d'ouvrages de faible rendement unitaire.
- En d'autres circonstances ce sont les procédés de captage eux-mêmes qui sont auto-régulés et ne peuvent, par construction, soutirer plus que les "débits naturels" des aquifères (galeries captantes à écoulement gravitaire, répandues en grand nombre dans certains pays de zone aride, du Moyen-Orient au Maghreb...*). La ressource locale en eau souterraine relativisée à ces appareils peut alors coïncider -lorsqu'il s'agit de captages "complets"-avec leur production...

Dans chacun de ces cas élargir la référence physique de la ressource en eau souterraine ne s'impose pas.

1.2 - Ressource en eau souterraine et système aquifère : approche systémique

Une conception locale de la ressource en eau souterraine n'est plus viable par contre dès qu'on a affaire à des aquifères à haute productivité qui se prêtent à l'exploitation intensive -notamment par pompage- et sont ainsi facilement "surexploitable", quelles que soient leurs étendues.

La ressource ne peut plus alors se rapporter à des ouvrages isolés censés capter chacun en régime d'équilibre une fraction du flux global d'une nappe. Au plan prévisionnel surtout, des calculs locaux ne pourraient évidemment se multiplier sans doubles-comptes. La ressource doit alors se référer à un cadre spatial et temporel inscrit dans les structures et les rythmes du milieu naturel, indépendamment -en première analyse- des structures et régimes d'exploitation. Mais il ne s'agit pas seulement de changer d'échelle spatiale, de passer de l'échelle locale à l'échelle régionale. La conception de la ressource va dépendre de la dynamique naturelle des eaux souterraines dans le domaine considéré (dont la description est plus complexe que celle d'un flux et ne se résume pas simplement par un "bilan d'eau" global) et surtout de sa manière de réagir aux diverses formes d'exploitation : c'est à dire du "comportement hydrodynamique", dont la compréhension nécessite une "analyse de système".

* En règle générale, tout ouvrage de captage qui impose une condition de potentiel fixe et non une condition de flux.

C'est pourquoi le cadre spatial le plus pertinent est, plutôt qu'un aquifère défini sur une base exclusivement géologique -comme "gîte" d'une nappe souterraine à caractères hydrogéologiques communs-, un système aquifère, définissable par sa structure, son comportement hydrodynamique et ses conditions aux limites -c'est-à-dire un ensemble formalisé de relations entre ses caractères structuraux, à diverses échelles, et les différentes variables d'état de l'eau (potentiels hydrauliques, caractéristiques physico-chimiques) internes et externes-, et représentable par un modèle conceptuel "hydrogéodynamique", éventuellement traduit (et obligatoirement simplifié, mais de manière sélective) par un modèle de simulation opérationnel. Rappelons en passant que de tels modèles de simulation hydrodynamique -numériques essentiellement- entrés désormais dans la pratique courante des études hydrogéologiques, doivent être tout autant adaptés aux problèmes à traiter qu'aux systèmes représentés.

L'analyse des conditions hydrogéologiques régionales, l'identification et la description des systèmes aquifères individualisables qui s'ensuit, deviennent alors la démarche normale et nécessaire pour définir et calculer des "ressources en eau souterraine" perçues comme un attribut attaché au milieu naturel, objet en tant que tel de connaissance scientifique a priori dont l'expression entre dans les compétences de l'hydrogéologue, et non plus seulement réponse de portée opérationnelle à des interrogations d'exploitants. De fait il est devenu classique que des monographies ou études régionales hydrogéologiques comportent en conclusion une "évaluation de ressource" en eau souterraine, qui est souvent leur objet affiché, bien que les contenus exposés demeurent le plus souvent en deçà : il ne s'agit que de données et informations utiles à une telle évaluation, et il n'est pas possible d'en dire plus à ce stade, comme on le verra (cf. infra 2).

Ce faisant, du même coup, l'hydrogéologue est enclin à privilégier abusivement la composante physique de la ressource, à assimiler la description scientifique d'un système aquifère et de sa dynamique naturelle à la "connaissance de la ressource", et plus particulièrement à identifier celle-ci au seul flux d'eau souterraine -global et moyen, ou plus ou moins réparti et distribué dans l'espace et le temps- qui se rapporte au système : flux d'apport équivalent globalement et en moyenne au flux écoulé. De là une identité encore trop souvent conçue et appliquée : ressource en eau souterraine = alimentation, ou "recharge"*, des aquifères considérés (ce qui procède d'une analyse de système tronquée).

Les exemples de cette assimilation réductrice abondent dans la littérature, à toutes échelles : depuis celle d'un aquifère, d'une nappe souterraine bien individualisés, à celle d'un bassin fluvial, d'une région ou d'un pays entier. Avec des variantes selon que le flux d'eau souterraine, relatif à l'espace considéré, est défini :

- par l'amont (= alimentation des aquifères par tous processus naturels) ;
- par l'aval (= débit -flux sortant- des aquifères équivalent à l'"écoulement souterrain", composante stable ou du moins régulière de l'écoulement total des cours d'eau, accru s'il y a lieu des écoulements souterrains "occultes" : flux écoulés en direct à la mer ou évaporés...).

* Préférer alimentation ou apports. Au sens propre la "recharge" est l'augmentation de charge, de potentiel, d'une nappe souterraine et non le flux d'apport (dérivation française).

La première approche est maximisante, tandis que la seconde est tantôt convergente avec celle-ci, si l'on compte bien la totalité des écoulements souterrains, tantôt minimisante lorsqu'on a le souci de ne compter que les seuls écoulements souterrains additifs aux écoulements de surface (flux à la mer ou évaporés). Certaines statistiques régionales ou nationales opérées selon des approches aussi différentes interdisent, il va sans dire, des comparaisons ou des sommations cohérentes.

En fait appeler "ressource" ce qui est simplement un flux d'eau naturel, un "débit" (moyen, global) n'ajoute aucune signification utile. C'est au contraire à la fois :

- trompeur, car c'est identifier la totalité de ce flux à une offre indifférenciée,
- réducteur, car c'est négliger les autres dimensions de l'offre.

Solide par sa base, plus pertinente par sa référence au milieu naturel, cette approche de la ressource est ainsi à son tour incomplète et insuffisante. Outre le fait qu'en réduisant la ressource à sa seule dimension de flux elle empêche une confrontation complète et multidimensionnelle avec la demande, une telle approche a, même dans l'expression de ce flux, trois défauts principaux :

- a - Elle néglige le fait que l'exploitation -surtout intensive- d'un aquifère va transformer amplement sa dynamique et souvent les échanges d'eau à ses limites (conditions d'ailleurs de rééquilibres assurant la pérennité des productions...) : le fonctionnement d'un système aquifère exploité et son flux global peuvent différer beaucoup de ce qu'ils sont en régime naturel.
- b - Elle branche la ressource (en quantité) sur le flux entrant dans le système - ce qui laisse supposer que sa totalité pourrait, au moins en théorie, être captée : vue tout-à-fait irréaliste. C'est la fraction du flux sortant que les captages multipliés "pourraient" effectivement (indépendamment ici de considérations économiques...) détourner des issues naturelles, en régime d'équilibre dynamique final, qui constitue seule le flux de ressource : la ressource doit se définir par l'aval autant sinon plus que par l'amont*.

La possibilité pratique d'"épuiser" -de surexploiter temporairement un aquifère- ne signifie pas nécessairement que le flux capté excède alors le flux d'apport, mais qu'il excède la diminution du flux sortant induite par le captage, donc qu'il "emprunte" au stock.

- c - Elle néglige les interdépendances entre les eaux souterraines des aquifères visés et les eaux de surface, et par conséquent le fait que la mise en exploitation -le détournement- d'une partie notable du "flux de ressource" en eau souterraine pourrait contrarier la conservation et l'utilisation de ces mêmes flux en tant que ressource en eau de surface en aval : tout le flux d'un aquifère n'est pas nécessairement une ressource attribuable à l'aquifère mais une partie de la ressource en eau d'un système plus large (on y reviendra à propos des contraintes et de la ressource potentielle : cf. 2.2 et 2.3).

* L'exploitation d'une nappe souterraine agit beaucoup plus généralement sur les flux aux limites aval, dont les diminutions induites sont le principal facteur d'équilibre dynamique. Calculer le "flux de ressource" par l'amont procède toujours d'une vision qui désarticule le cycle de l'eau et ramène la fonction d'une fraction du milieu naturel à celle de "producteur d'eau" dont l'exploitation récolterait une partie des fruits...

En élargissant comme il convient sa référence à l'échelle régionale et aux structures physiques -hydrogéologiques- du milieu naturel, la ressource en eau souterraine n'est pas davantage une "production spontanée", un "revenu naturel" procuré par les aquifères, définissables et mesurables en soi indépendamment de la manière de les recueillir, de les "capter" (hormis le cas particulier du captage des sources maintenues en l'état, qui s'apparente à vrai dire plus à des prises en rivière au fil de l'eau qu'à l'exploitation directe d'eau souterraine). Cet élargissement n'abolit pas la référence à l'exploitation, à la manière de mobiliser l'eau. Seulement celle-ci s'élargit elle-aussi à l'échelle d'un ensemble d'opérations correspondant : on peut parler maintenant de "macro-ressource", à analyser dans une optique macro-économique.

Les dispositifs et régimes d'exploitation s'intègrent alors dans les systèmes aquifères exploités et les transforment, en les artificialisant jusqu'à un certain point. En somme la ressource en eau souterraine doit se référer à un système aquifère exploité et plus ou moins transformé par l'exploitation, et non à un système en état originel naturel.

Par ailleurs, la "macro-ressource" en eau souterraine se référant à un système aquifère -ou ensemble de systèmes aquifères- donné ne pourra, pas plus que la "micro-ressource" conçue primitivement, s'exprimer par une dimension unique et moins encore par une seule estimation :

- La ressource en eau souterraine est toujours multi-dimensionnelle : elle s'exprime en termes de flux (global, réparti dans le domaine et variable dans le temps), de stock (lui aussi réparti et variable), de qualités des eaux relatives à divers usages, de "réactivité" aux actions de mobilisation, etc... qui conditionnent l'exploitabilité et la conservabilité de la ressource dans le champ considéré. A ce niveau encore les dimensions de la ressource correspondent à celle de la demande en eau -à l'échelle cette fois de l'ensemble d'acteurs qui peuvent la solliciter-.
- Face à la variété des plans -dispositifs et régimes- d'exploitation techniquement concevables on pourrait calculer autant de variantes de production d'eau globale maximale sans défaillance, en s'en tenant au critère de sécurité ; donc d'équilibre dynamique à plus ou moins long terme considéré en premier lieu, et assortir chacune d'une répartition de ce flux en différentes classes de coût de production, de qualités d'eau, d'assurance de régularité (résistance aux sécheresses...) et de "protection naturelle" contre des risques de pollution, etc.

En résumé le flux (pour s'entendre à cette dimension) de ressource en eau souterraine ne peut en toute rigueur se définir, même au plan purement physique, indépendamment de la manière de l'exploiter, et plus largement de la manière de mobiliser les eaux du milieu naturel, si l'on veut éviter des doubles-comptes en chiffrant séparément des flux théoriques de ressource en eau souterraine et de ressource en eau de surface en partie communes .

En pratique on ne peut envisager d'explorer une gamme infinie de variantes possibles. Aussi la procédure moderne d'estimation physique de ressource en eau souterraine va-t-elle consister surtout à décrire un ensemble de potentialités offertes par un système aquifère -parmi lesquelles les flux comptent certes beaucoup, mais aussi les stocks et les capacités régulatrices, les productivités locales, les caractéristiques de qualités des eaux, les sensibilités de ces diverses "variables d'état" à des impacts (vulnérabilité à la pollution...) etc.- et de les structurer, de les mettre en relation, en un "modèle d'offre" confrontable à diverses "demandes", c'est-à-dire à diverses sollicitations imaginables du système (cf. encadré). Il s'agit aussi bien de

sollicitations quantitatives -demandes de prélèvement, y compris des demandes nouvelles venant s'ajouter à des exploitations préexistantes déjà prises en compte dans l'état du système, demandes de déversement ou d'action sur les niveaux- que d'incidences directes ou indirectes sur des facteurs de qualités de l'eau.

La manière de concevoir et de décrire la ressource doit comprendre l'estimation de sa "reproduction" spontanée et la prévision des dysfonctionnements du système pouvant résulter de certaines sollicitations, notamment des répercussions sur d'autres variables que celles directement modifiées (impacts sur les qualités d'actions sur les flux, par exemple).

Au plan de la ressource en quantité -et même, dans une large mesure, de la "ressource en qualités"-, un aspect fondamental d'une telle procédure est la prévision des réactions des aquifères exploités, y compris jusqu'à leurs limites, et l'appréciation des possibilités physiques de rééquilibre dynamique. Les quantités d'eau que l'on pourra extraire d'un aquifère sans l'épuiser -c'est-à-dire, au plan quantitatif, la ressource en eau souterraine renouvelable- seront déterminées en fin de compte, répétons-le, moins par les flux qui l'alimentent que par ceux que l'on parviendra en pratique à détourner de ses issues naturelles durablement ; on est encore ramené à la disjonction ressource en eau souterraine \neq alimentation des aquifères.

1.3 - Ressource renouvelable et non renouvelable en eau souterraine.

Flux et stock : mode d'emploi.

Dans sa dimension quantitative, la ressource en eau souterraine considérée jusqu'ici est implicitement une ressource renouvelable comme la ressource en eau en général. La limitation de sa quantité est celle d'un flux et elle ne se réfère à la durée que pour exprimer des grandeurs moyennes et des variabilités, tandis que les stocks - les réserves des aquifères- jouent essentiellement un rôle régulateur spontané ou "employé". L'importance relative de ces stocks au regard des flux -qui peut s'exprimer par la durée moyenne de renouvellement global des premiers par les seconds, en un système aquifère donné- est déjà par elle-même, on l'a vu, une dimension de la ressource, du "modèle d'offre", puisqu'elle conditionne la possibilité de capter -de produire- un flux constant ou adapté aux variations de la demande, en s'affranchissant plus ou moins des irrégularités des apports, de même qu'elle détermine déjà spontanément le degré de régularité des flux sortants naturels (sources).

Selon leur taille, leur capacité, leurs constituants, leur structure et leurs connexions avec les eaux superficielles, selon que leur écoulement est en régime libre ou captif, les aquifères offrent, on l'a dit, une grande variété de rapports flux/stocks, donc de durées de régulation : les unes courtes et infra-annuelles, d'autres pluri-annuelles, voire pluri-décennales. Les durées de référence des estimations de ressource en quantité doivent s'en inspirer, ainsi que les termes auxquels doivent se rapporter les équilibres dynamiques à obtenir et à constater. Soulignons en passant, à ce sujet, que des erreurs d'estimation de ces durées amenant à confondre des déséquilibres temporaires (même prolongés plusieurs années) avec des déséquilibres "définitifs", ont souvent conduit à des diagnostics non fondés de "surexploitation" de nappe souterraine.

" Carte d'identité d'un modèle d'offre"

Plan de description d'un "système de ressource" en eau souterraine :

- . Géométrie et structure de l'aquifère, et éventuellement des formations semi-perméables capacitives contigües qu'il peut drainer ; croisement de son extension avec celles d'espaces économiques et administratifs correspondants (carte).
- . Régime général d'écoulement des eaux souterraines : libre ou captif et, en cas de partition, situation des zones respectives (carte).
- . Capacité totale moyenne -du réservoir aquifère et éventuellement des corps semi-perméables capacitifs connexes- et zonalité en cas de différences significatives d'emmagasinement et de hauteur aquifère selon les secteurs ; variabilité du stock que traduisent les variations naturelles du champ des potentiels (niveaux piézométriques libres), infra-annuelles et pluri-annuelles.
- . Flux global moyen et distribution fréquentielle des flux d'apport variables ; répartition des flux aux limites ; identification des relations de continuité avec des cours d'eau.
- . Conditions aux limites périphériques et de surface ; sensibilité des flux, aux limites ouvertes, à des influences déterminées par des actions internes (prélèvements, apports artificiels) : localisation des issues à flux sortant réductible au réversible, des aires d'alimentation à flux influençable.
- . Modèle conceptuel de comportement du système aquifère, formalisant les relations entre les caractères structuraux, les conditions aux limites et les variables d'état internes, matérialisé par un modèle de simulation hydrodynamique, relié éventuellement à un modèle de bassin intégré.
- . Répartition des profondeurs d'accès, déduite du champ des potentiels -et des profondeurs du toit du réservoir en cas d'aquifère captif- (carte).
- . Champ des hauteurs aquifères moyennes et minimales (variations naturelles), déduites du champ des potentiels et des altitudes du substratum du réservoir, fixant des hauteurs de rabattement maximales praticables (carte).
- . Champ des productivités locales probables (par ouvrages complets), déduit du champ des transmissivités (carte).
- . Répartition spatiale des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau -y compris leur éventuelle "stratification"- en état moyen ; variations naturelles si elles sont significatives ; sensibilité de ces variables d'état à des changements hydrodynamiques et/ou à des impacts d'actions externes.

Faut-il rappeler qu'en phase de croissance des prélèvements d'eau souterraine, il n'y a pas d'équilibre dynamique possible ? : les quantités d'eau produites proviennent nécessairement dans une certaine mesure de déstockage ajouté au captage d'une partie variable du flux naturel de l'aquifère. Déjà on sait qu'un captage à débit constant débute par une phase initiale en régime de non-équilibre ; à fortiori cette phase se prolonge tant que les prélèvements ne sont pas stabilisés -en flux moyen annuel du moins- et compensés par des modifications de flux équivalentes aux limites du système aquifère (diminution de flux sortant et/ou augmentation de flux entrant).

La réserve d'un aquifère peut par ailleurs à elle seule offrir une ressource en eau non renouvelable mobilisable par déstockage, donc nécessairement limitée à terme. La ressource n'implique plus alors, évidemment, l'idée d'équilibre. Elle s'exprime (en quantité) non plus en flux mais en volume d'eau -à l'instar d'un gisement- réparti éventuellement en "tranches" correspondant à autant de classes de conditions d'accès et de coût de production au m³, et traduisibles en une gamme de couples flux-durée au choix de l'exploitant (choix entre une production plus intensive mais écourtée, ou une production plus faible mais prolongée, analogue à celui de toute exploitation minière...).

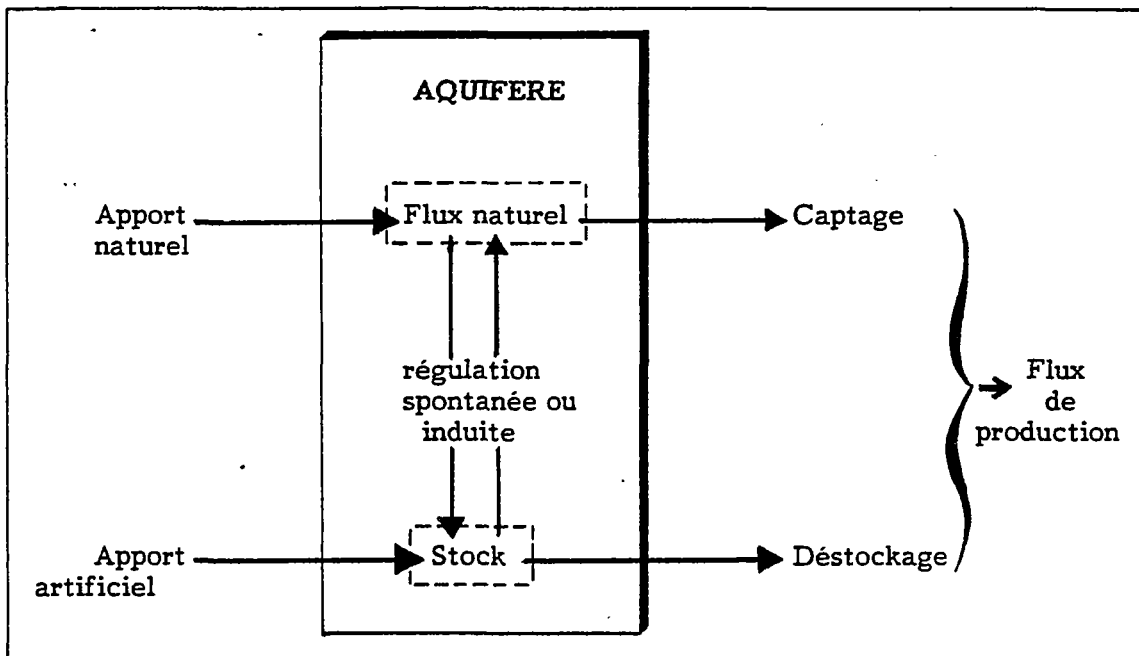
C'est le cas de la plupart des aquifères profonds à nappe captive des grands bassins sédimentaires, lorsque les échanges d'eau par drainance, induits par les dépressions dues aux prélèvements, ne constituent pas un facteur de rééquilibre significatif. Des réserves d'eau souterraine sont effectivement mobilisées dans beaucoup de pays et leur exploitation assure dans certains -notamment en zones arides- une part notable des approvisionnements en eau.

Remarque :

L'analogie avec les exploitations minières ne s'étend pas à la terminologie en matière de ressource et de réserve :

- En économie minière, où il ne s'agit que de matière première non renouvelable, la ressource est la quantité de minerai totale probable, déduite des conditions géologiques, tandis que la réserve est la quantité prouvée, connue à la suite d'investigations et "exploitable" suivant les conditions économiques et juridiques du lieu et du moment.
- En économie de l'eau, la ressource non renouvelable correspond en théorie à la réserve d'un aquifère, en pratique à sa partie "déstockable" selon différents critères (cf. infra 2.3 : ressource potentielle et ressource exploitable en eau souterraine) ; elle s'apparente donc plutôt à la "réserve" des mineurs.

Les rôles respectifs et plus ou moins conjoints du flux et du stock dans la composition de la ressource en eau souterraine (en quantité) peuvent, en résumé, se schématiser comme suit :



Le choix du parti que l'on peut et/ou que l'on veut tirer de la réserve d'un aquifère, dans une situation définie, entre l'emploi plus ou moins intensifié de sa fonction régulatrice ou l'extraction du "gisement d'eau" qu'elle forme, est ainsi indissociable du choix entre les stratégies d'exploitation de ressource renouvelable en équilibre dynamique ou d'exploitation de ressource non renouvelable finie à terme.

1.4 - Types de système de ressource en eau souterraine

Les différents facteurs qui conditionnent le comportement des systèmes aquifères, rappelés plus haut (étendue et configuration, paramètres structuraux "pétrophysiques", conditions hydrodynamiques aux limites et régime d'apport, etc.) varient pour la plupart dans une gamme très large d'ordres de grandeur. Malgré la grande diversité des combinaisons résultantes possibles -et réalisées- les "systèmes naturels de ressource en eau souterraine", ou "modèles d'offre" que l'analyse des conditions hydrogéologiques en déduit, peuvent se classer en un petit nombre de types qui correspondent chacun à une prédisposition à un régime d'exploitation globale plus approprié.

Ces prédispositions, en déterminant à la fois des latitudes et des limitations physiques, pèsent donc sur les choix pratiques de gestion globale -à cette échelle de "macro-ressource"-, choix notamment de "stratégie d'exploitation et de conservation".

Deux caractères apparaissent ici les plus importants pour fonder cette "typologie" :

- le rapport flux/stock,
- les relations aquifères/cours d'eau de surface;

L'un et l'autre varient très largement :

- Le rapport flux/stock, autrement dit la capacité de la réserve à régulariser le débit global d'un aquifère irrégulièrement alimenté, exprimé en durée de renouvellement global, varie de moins d'une année à l'ordre de 10^4 à 10^5 années pour des nappes profondes souvent qualifiées "fossiles".
- La relation nappe/rivière(s) va d'une liaison très forte, continue et permanente (cas de nappe alluviale de faible extension transversale liée à un cours d'eau sans colmatage) à l'indépendance complète (cas de nappe captive profonde ou de certaines nappes littorales).

Ces variations sont concomitantes jusqu'à un certain point, ce qui limite le nombre de "croisements" possibles.

En pratique les systèmes aquifères réels et offrant une "macro-ressource" à intérêt économique se rangent pour la plupart dans l'un des sept types de "système de ressource" suivants :

- a - Aquifères sédimentaires étendus de grande capacité ($> 0,1$ à 1 Gm^3), à nappe libre, nourris surtout par des apports météoriques peu influençables directement par l'exploitation -et parfois localement (karst) par des cours d'eau, à flux sortant régularisé drainé principalement par des cours d'eau et influençable par l'exploitation (toutefois, sauf à courte distance, les influences sont amorties et régularisées du fait des faibles diffusivités hydrauliques de ces aquifères), vulnérables enfin à des impacts sur les qualités de l'eau (notamment par pollution diffuse).

-> prédisposition à une gestion de flux et de stock régulateur (ressource renouvelable), à coordonner et concilier avec celle des cours d'eau collecteurs.

- a' - Variante du type (a) : aquifères similaires en structure et régime d'apports, mais non ou peu liés à des cours d'eau en aval, à flux sortant indépendant (à la mer ou, en zone aride, à des aires d'évaporation).

-> prédisposition à une gestion de flux -et, dans une mesure variable, de stock régulateur-, indépendante de celle de cours d'eau, avec contrainte de conservation des potentiels au voisinage du littoral éventuellement (pour stabiliser l'interface eau douce/eau salée).

- b - Aquifères locaux à nappe libre, alluviaux principalement, de faible capacité (ordre de 10 à 100 Mm^3), liés et "subordonnés" à des cours d'eau permanents ou temporaires (zone aride) qui à la fois les alimentent et les drainent, selon les lieux et les moments : apports météoriques négligeables au regard des flux échangés entre rivière et aquifère, influençables et réversibles ; vulnérabilité à des impacts sur les qualités de l'eau, notamment en conséquence de risques de pollution de l'eau de surface.

NB. : Cette classe peut être subdivisée en fonction du degré de liaison nappe/rivière, selon la pénétration du cours d'eau dans l'aquifère, le colmatage du lit et des berges et le régime du cours d'eau.

-> prédisposition à une gestion de flux permanent, à coordonner avec celle des cours d'eau, notamment avec leur aménagement par des réservoirs régulateurs ; alimentation artificielle praticable.

- c - Aquifères sédimentaires, notamment alluviaux, de faible ou moyenne extension -et capacité-, à nappe libre, emboîtés dans des formations encaissantes plus étendues moins transmissives mais capacitives (= réservoirs annexes) qu'ils drainent : cette alimentation latérale peut l'emporter sur les apports météoriques et être influencée par l'exploitation ; -cf. (a) - ; vulnérabilité similaire à celle de (a), (a') et (b).

-> prédisposition à une gestion de flux, dans les limites d'extension des zones productives, à coordonner plus ou moins avec celle des cours d'eau collecteurs.
- d - Aquifères locaux, discontinus et de faible capacité (ordre de $0,1 \text{ Mm}^3.\text{km}^2$), à limite floue et modifiable sous l'effet d'exploitation, des formations de "socle" (roches dures fracturées) à fonctions conductrice et capacitive relativement séparées, à nappe libre ou semi-captive ; alimentation principalement par apports météoriques non influençables, flux sortant plus ou moins régularisés collectés par les cours d'eau, via des sources, ou affluents à des aires d'évaporation en zone aride ; vulnérabilité à des impacts sur la qualité de l'eau, avec forte rémanence mais faible expansion des effets locaux.

-> prédisposition à une gestion de flux et de stock modérément régulateur, par compartiments en pratique indépendants.
- e - Aquifères sédimentaires étendus à nappe captive compris dans des "systèmes multicouches", à fonction surtout conductrice et liés à d'autres aquifères captifs ou libres avec lesquels des échanges de flux, souvent minimes en régime naturel, peuvent être très amplifiés sous l'influence d'exploitation ; absence de liaison directe avec des cours d'eau, mais existence parfois d'exutoires superficiels -sources "artésiennes"- dont la conservation peut imposer une contrainte ; faible vulnérabilité à des impacts sur la qualité de l'eau, sauf par des ouvrages (injection, mise en communication par des forages mal isolés...), mais possibilité d'attraction de masse d'eau de qualités inférieures sous l'effet d'exploitation.

-> prédisposition à une gestion de flux régularisé, à coordonner avec celles des aquifères connexes.
- f - Aquifères sédimentaires étendus à nappe captive relativement isolés ou contigus seulement à des formations semi-perméables capacitatives, faiblement alimentés par drainance et/ou par des flux provenant de prolongements périphériques du réservoir à nappe libre et peu influençables par l'exploitation (sauf au voisinage de ces limites), sans aucune relation avec des cours d'eau ; exploitation facilitée souvent par des productivités élevées ($> 100 \text{ m}^3/\text{h}$) et parfois localement, en phase initiale, par le jaillissement ("artésianisme") qui compense les profondeurs d'accès ; forte protection naturelle contre des impacts sur les qualités de l'eau, mais possibilité d'attraction d'eau de qualités inférieures sous l'effet d'exploitation.

-> prédisposition à une gestion de stock (ressource non renouvelable), donc exploitation limitée à terme.

A chaque hydrogéologue -on lui en laisse le soin- de répartir les aquifères de sa connaissance dans cette classification et de l'illustrer ainsi d'exemples.

2 - EVALUER

2.1 - La ressource est relative à la demande

Evaluer c'est communément calculer -et plus particulièrement ce qui n'est pas directement ou complètement mesurable, avec quelque approximation...-, mais c'est d'abord au sens propre **attribuer une valeur**; c'est dans ce sens qu'il faut comprendre l'évaluation de la ressource en eau souterraine (comme de toute autre ressource).

- Il ne s'agit donc pas seulement de **chiffrer** des flux et des stocks d'eau rapportés à un système aquifère défini, en les "détaillant" plus ou moins dans l'espace et le temps selon des conditions d'accès, des caractéristiques de l'eau qui déterminent des aptitudes aux usages (des "potentiels fonctionnels"), etc. : ce qui revient à quantifier toutes les dimensions sus-mentionnées de la ressource en tant que "**modèle d'offre**", y compris son comportement dynamique -sa "réactivité"- et ses sensibilités (tout cela est de l'ordre de la **description** de la ressource dont il vient d'être question).
- Il s'agit en outre et surtout d'**apprécier** cette "offre" suivant une échelle de valeur dont les fondements ne peuvent être autres que les **critères des "demandes"**.

Traiter d'évaluation de la ressource entraîne donc nécessairement à un détour par la demande.

De quelles demandes s'agit-il ?

Les demandes* du point de vue desquelles la ressource en eau souterraine peut être évaluée sont, comme cette ressource elle-même, à considérer à **deux échelles** : l'échelle micro-économique, individualisée et le plus souvent locale des exploitants, et l'échelle macro-économique, plus régionale et agrégée d'une collectivité plus large et différenciée.

Echelle micro-économique : point de vue restreint

En premier lieu il s'agit évidemment des demandes d'**utilisations** d'eau actuelles ou projetées qui se définissent par les mêmes dimensions que la "micro-ressource" : quantité d'eau voulue, régularité (sécurité d'approvisionnement), localisation, coût jugé acceptable, aptitudes fonctionnelles ("qualités") de l'eau désirées, ce qui facilite la comparaison. Ces demandes se confondent ou non avec des sollicitations directes -prélèvements- de la ressource offerte à laquelle elles se confrontent pour l'évaluer, selon qu'elles émanent d'usagers -exploitants ou d'usagers desservis qui sollicitent seulement par leurs demandes d'approvisionnement des intermédiaires (producteurs-distributeurs d'eau). Dans ce second cas, où la filière de demande comporte deux niveaux, c'est l'agent intermédiaire qui transpose les demandes des usagers -en les agrégeant et les transformant plus ou moins suivant ses propres critères de producteur- et qui les confronte à la ressource avec le regard évaluateur de l'exploitant non usager mais fournisseur.

* Demande est à comprendre ici au sens économique classique et factuel de sollicitation d'une offre, et non au sens de "besoin" théorique...

Il faut souligner à ce propos qu'au niveau des usagers d'eau il n'existe pas de "demande en eau souterraine" a priori (sauf cas particuliers : usage thermique ou thermal...) mais seulement une demande en eau qui, au niveau des exploitants (des usagers eux-mêmes directement ou des producteurs d'eau intermédiaires) peut mettre -et met effectivement- en compétition différents types de source d'approvisionnement, distinguées par le milieu sollicité... L'eau souterraine n'est donc pas dévolue a priori à certaines demandes. En pratique toutefois l'eau souterraine est plus particulièrement adaptée à certaines demandes d'approvisionnement (l'alimentation en eau potable par exemple et certaines demandes dispersées ou extensives...), aussi ce sera suivant les critères de ces demandes que la ressource en eau souterraine sera le plus souvent préférentiellement évaluée.

Dans cette optique des exploitants (usagers directs ou non), les critères micro-économiques d'évaluation de la ressource réduite à une "source d'approvisionnement" en matière première-eau sont ainsi souvent des critères de choix -de préférence à donner-, aussi l'importance relative de l'eau souterraine dans le champ local des sources d'approvisionnement à la portée de l'exploitant, la variété de choix offert ou non, la "compétitivité" de l'eau souterraine, entrent en ligne de compte dans l'évaluation : il va sans dire que lorsque l'eau souterraine est sans rivale, dans un champ donné, donc offre une ressource unique pour toute une gamme de demandes, son évaluation ne sera pas identique à ce qu'elle serait dans le cas où des eaux souterraines et superficielles également abondantes et accessibles coexistent (le plus souvent alors très intriquées et interdépendantes). Enfin, dans tous les cas les critères d'évaluation, peu dissociables des critères de faisabilité d'exploitation, sont relatifs aux objectifs d'utilisation : selon qu'il s'agit d'alimentation en eau potable, d'irrigation, d'utilisation par telle ou telle branche industrielle, le point de vue pourra différer largement.

Ajoutons que ces critères ne s'appliquent qu'à la ressource à "exploiter" par les prélèvements -actuels ou projetés- donc en amont des usages d'eau, et non ou rarement par des sollicitations en aval : retours d'eau, influences indirectes... Il est vrai que les eaux souterraines sont beaucoup moins réceptrices de déversements délibérés d'eau usée (sauf cas particulier des réinjections après usage thermique), et que ces sollicitations en aval ou impacts indirects sont considérés par les agents qui les déterminent comme des "effets externes" tant qu'ils n'en subissent pas de contrecoup.... Seule entre ici en ligne de compte la faisabilité de ces sollicitations en aval, du point de vue des agents, lorsqu'elles conditionnent en fin de course le fonctionnement des filières de leur propre activité.

Aussi, même à cette échelle, une conception de la ressource en eau souterraine polarisée par le point de vue des demandes d'approvisionnement n'est pas toujours sans inconvénient : le "revers de la ressource", l'aptitude du milieu aquifère à reprendre, à assimiler et à dissiper des retours d'eau et à limiter leurs incidences ne doit pas être négligée, y compris dans le cas où certains effets externes pourraient être "internalisés".

Echelle macro-économique : point de vue élargi

Les demandes relatives à l'eau souterraine doivent être aussi considérées à une échelle à la fois plus large et macro-économique : celle de l'ensemble des utilisations qui sollicitent la ressource en eau globale -tant en amont qu'en aval des usages-, aussi bien que les activités occupant le sol et le sous-sol, faits d'agents très variés dont les actes peuvent se contrarier et dont les objectifs peuvent diverger et ne sont pas tous compatibles, donc finalités d'intérêt général. A cette échelle aussi les dimensions de la demande globale correspondent à celles de la ressource : flux global à capter et/ou à laisser s'écouler pour maintenir le débit de sources ou de rivières, niveaux naturels ou dynamiques à entretenir (notamment pour conserver des conditions pratiques d'exploitation ou pour préserver la stabilité du sol...) ou au contraire à abaisser pour faciliter l'occupation du sous-sol, caractéristiques de qualité à conserver par zone.

D'autres critères d'évaluation de la ressource en eau souterraine peuvent apparaître à cette échelle, où le champ d'évaluation correspond mieux à ceux des systèmes aquifères, eux-mêmes subordonnés aux systèmes d'eau globaux. Des critères de choix d'allocation de ressource en eau, de préférence donnée à certaines utilisations d'eau -souvent : réservation de l'eau souterraine à des usages "nobles" tels que l'alimentation humaine-, de choix de conservation d'autres ressources (détériorables ou rendues moins accessibles, sous l'effet des modifications de régime ou d'état d'eaux souterraines exploitées ou influencées : stabilité de sol construit ou constructible, végétation...), ou encore de choix de préservation du milieu naturel (certains milieux aquatiques tributaires de l'état d'eaux souterraines...), peuvent avoir primauté sur les critères de faisabilité et de préférence de source d'approvisionnement, du point de vue des exploitants, de l'échelle précédente.

Il s'agit donc à la fois de critères macro-économiques d'utilisation à moyen et long terme prenant en compte des préoccupations de conservation de la ressource (renouvelable) en tant que patrimoine commun, et de critères écologiques.

A cette échelle aussi, et davantage, la ressource est à évaluer, non seulement comme potentialité offerte aux prises immédiates ou différées en vue d'usages, mais aussi comme potentialité de reprise, d'assimilation et de régénération, puisque les conséquences en aval de certains usages d'eau ou mêmes de diverses activités d'occupation du sol ("effets externes" pour certains agents) peuvent compliquer ou gêner d'autres usages, donc être supportées par d'autres agents.

En somme la ressource à évaluer n'est plus simplement la "ressource à exploiter" mais aussi la ressource à allouer et à partager, à conserver, voire à défendre, en un mot à gérer.

* *

*

La structure différenciée et étagée des demandes, donc des points de vue pour évaluer la ressource en eau souterraine, a deux conséquences essentielles :

(1) - L'évaluation de la ressource en eau souterraine n'a pas d'expression unique.

A l'unicité physique du "modèle d'offre" décrit s'oppose une pluralité d'évaluations possibles :

- tant du fait des différences d'optique entre les deux échelles,
- que du fait de la pluralité des options à chaque échelle, de la variété des utilisations présentes aussi bien que projetables, qui engendre une diversité de critères d'évaluation ; aussi l'évaluation de la ressource dans un sens prévisionnel est-elle inséparable de l'élaboration de scénarios de demande assez contrastés, non seulement en taux de croissance mais surtout en variété d'usages et de sollicitations induites de la ressource ; à l'échelle supérieure aussi plusieurs options, conséquences elles-mêmes d'options plus générales sont concevables.

(2) - L'évaluation de la ressource en eau souterraine n'est pas indépendante de l'évaluation de ressource en eau superficielle, l'une et l'autre devant s'intégrer dans une évaluation de ressource en eau globale.

Cette intégration nécessaire ne résulte pas seulement des relations et continuités physiques de l'eau souterraine avec les autres phases et étapes du cycle de l'eau naturel. Elle procède aussi du fait de la mise en compétition, du point de vue des demandes, des sources d'approvisionnement en eau -voire des sujets à impact-, quelque soit le degré d'interdépendance ou d'indépendance relative entre les eaux souterraines et les eaux superficielles. Face à l'unicité de la ressource en eau -à l'échelle macroscopique- l'ensemble des utilisations d'eau et des critères économiques communs des utilisateurs peut fonder une optique d'évaluation également globale, sinon unifiée.

La ressource en eau souterraine est alors évaluée :

- au plan de la collectivité des utilisateurs d'eau qui occupent le champ de ressource et ont donc accès à l'eau souterraine, comme résultat cumulé de leurs choix micro-économiques, de leurs préférences de source d'approvisionnement présente et future (avec des variantes et des variations possibles et les incidences d'éventuels arbitrages à ce niveau en cas d'utilisations concurrentielles....) ;
- au plan plus général de l'ensemble des utilisateurs des eaux et du territoire dans l'espace considéré, comme partie (maximale) de la ressource en eau globale du domaine qu'il est "collectivement" jugé préférable et/ou permis de solliciter par prélèvement dans les aquifères : évaluation tout aussi relative et évolutive, résultant encore d'arbitrage plus général -ou d'équilibre de force- entre parties prenantes. On s'écarte encore davantage, on le voit de l'identification physique : ressource en eau souterraine = flux des aquifères.

Sur ce second plan -le seul où elle peut être complète- l'évaluation de la ressource en eau souterraine est bien "emboîtée" dans une évaluation de la ressource en eau globale, et même plus largement dans une évaluation de l'environnement et du patrimoine naturel.

L'évaluation de la ressource en eau souterraine est alors, on l'a souligné déjà, tout à fait dépendante du "poids relatif" des eaux souterraines dans un champ donné, tant en quantité, qu'en facilité d'accès, qu'en qualités et qu'en rôle dans le cycle de l'eau naturel.

En résumé : la ressource en eau souterraine procède de la distinction entre ce qui est à prendre et à laisser dans les aquifères.

2.2 - Contraintes à identifier

L'évaluation de la ressource en eau souterraine ne doit pas se baser seulement sur la description de l'état présent d'un système aquifère considéré (plus ou moins déjà influencé par des exploitations antécédentes, donc non nécessairement "naturel").

Elle doit se baser aussi sur l'estimation d'états futurs du système exploité suivant tel ou tel scénario : à chaque projet (plus ou moins complexe et échelonné) de développement d'exploitation d'eau souterraine du système il faut faire correspondre une prévision d'évolution d'état du système (dynamique, hydrochimique, etc.) et de ses diverses conséquences internes (pour les conditions d'exploitation) ou externes (impacts).

Evaluer la ressource consistera alors pour l'essentiel à confronter ces diverses conséquences aux différentes contraintes à respecter, et éventuellement à maximiser sous ces contraintes, la quantité d'eau productible.

Ces contraintes sont de deux ordres, qui correspondent aux deux échelles de demandes et de critères d'évaluation vues précédemment :

- **Contraintes internes**, spécifiques à chaque scénario de demandes et liées aux critères d'exploitabilité d'eau souterraine propres aux agents utilisateurs exploitants (coût, localisation, sécurité...), suivant leurs objectifs particuliers et relatifs à une situation et à une perspective données ; en somme des contraintes de conservation de l'eau souterraine en tant que source d'approvisionnement*, de sa reproductibilité et des productivités.
- **Contraintes externes**, indépendantes de ces scénarios et reliées à des "utilisations" plus indirectes de l'eau souterraine (par exemple : utilisation, y compris *in situ*, d'eau de surface, préservation d'écosystème aquatique, utilisation du sol que l'exploitation d'eau souterraine peut influencer...), dont les objectifs socio-économiques seraient prioritaires -mais peuvent aussi changer- ; en somme, des contraintes de conservation de l'eau souterraine en tant que "non-ressource" (en eau souterraine...).

* soit comme ressource en eau renouvelable, soit comme ressource non renouvelable dont la durée d'exploitation choisie fixe elle-même une contrainte de plafonnement des prélèvements annuels par secteur.

Les contraintes externes se superposent aux contraintes internes et sont prioritaires : elles peuvent ainsi imposer des limitations supplémentaires aux utilisations directes d'eau souterraine.

Les contraintes externes, surtout, parfois aussi les contraintes internes, peuvent être traduites au plan juridique par des réglementations (interdictions, astreintes).

2.3 - Ressource potentielle et ressource exploitable en eau souterraine

La distinction entre ressource potentielle et ressource exploitable en eau souterraine se relie à cette dichotomie de contraintes :

- La ressource **potentielle** est l'offre d'eau souterraine aux utilisateurs sous condition de respect des contraintes **externes**, qui au plan hydrodynamique se traduisent en pratique par des contraintes de "niveau-plancher" de nappe en certains secteurs (donc de limitation des rabattements permis). Les objectifs qui motivent des conservations de qualités d'eau souterraine (à des fins autres que leur utilisation directe) peuvent aussi engendrer des contraintes externes et limiter la ressource potentielle tant par le biais de conservation de niveaux, que par des interdictions d'action pouvant directement altérer ces qualités.
- La ressource **exploitable** est l'offre d'eau souterraine aux utilisateurs sous les seules contraintes **internes**, donc évaluée seulement selon leurs propres critères d'exploitation, dont on a dit la variété, les changements possibles, les relativités à leurs objectifs et à leur marge de choix. L'exploitabilité peut s'étendre à la possibilité de solliciter l'eau souterraine en aval des usages sans affaiblir la ressource offerte en amont (en quantité comme en qualités).

Remarque :

Il est logique de subordonner l'évaluation de la ressource exploitable à celle de la ressource potentielle si l'on donne priorité aux contraintes externes. Il ne s'ensuit pas que les contraintes externes soient toujours plus amples que les contraintes internes, ni que les deux concepts de ressource soient nécessairement "emboîtés". Selon les cas d'espèce les contraintes les plus limitantes seront externes ou internes.

En terme de seules quantités d'eau :

Ressource potentielle \geq Ressource exploitable

2.4 - Ressource en qualités

On s'est efforcé, dans les propos qui précèdent, de ne pas faire un sort à part à la dimension "qualitative" de la ressource en eau à décrire puis à évaluer, la séparation entre quantités et qualités étant assez artificielle, tant du côté de la ressource offerte que du côté des demandes et de leurs critères. Il n'est cependant pas inutile, compte tenu des habitudes courantes, de récapituler ce qui se rapporte plus particulièrement à l'évaluation de la "ressource en qualités", notamment dans le cas de l'eau souterraine.

C'est encore évaluer la ressource que d'attribuer à l'eau souterraine -comme à toute autre- des qualités : puisque c'est apprécier les potentiels fonctionnels de l'eau suivant des critères d'usages, plus ou moins formalisés par des normes (potabilité, aptitudes à l'irrigation, à divers usages industriels, au chauffage ou à la climatisation, voire au thermalisme...). L'eau n'a pas de qualité en soi, dans l'absolu. De plus ces qualités relatives aux usages sont indépendantes des origines de l'eau employée (qu'elle soit souterraine ou superficielle, voire issue d'un "retraitement" après un premier usage...).

Si mesurer et chiffrer les nombreuses caractéristiques qui déterminent ces potentiels -variables physiques, chimiques, voire biologiques dites "paramètres de qualité"- sont bien de l'ordre de la description de la ressource (offre), traduire en qualité(s) d'eau des états donnés d'un ensemble plus ou moins complexe de ces paramètres (composition chimique, température, etc.) est évidemment relatif aux demandes en qualité, donc aux usages : ceux-ci étant variés -même si l'on peut les grouper en un petit nombre de genres et les organiser en une "grille de qualité" générale "multi-critères" - l'expression ni l'évaluation de qualité d'eau ne peuvent être uniques. Aussi est-il impropre de présenter des données hydrochimiques sur les eaux souterraines, que ce soit sous forme de tableaux analytiques ou d'expressions plus synthétiques -statistiques, cartes d'interpolation...- comme des descriptions de "qualité".

Par ailleurs cette évaluation de ressource en qualité(s) ne peut se réduire à la qualification d'une collection d'échantillons d'eau analysés, voire "traités statistiquement" ou cartographiquement* et répartis en "classes de qualité" normatives. Les attributions de qualités aux eaux du milieu naturel, notamment à des eaux souterraines, doivent correspondre à des quantités d'eau définies dans l'espace et le temps (flux, volumes d'eau dont les échantillons sont présumés représentatifs) qui les pondèrent, et ces quantités doivent se référer aux mêmes systèmes aquifères que ceux considérés pour évaluer la ressource en quantité, subdivisés éventuellement du point de vue des qualités. Ces attributions peuvent encore être affectées de variabilités par rapport à des états moyens. Ainsi peuvent être estimées des abondances ou raretés relatives d'eaux de différentes classes de qualité, tant au sein d'un système aquifère donné, qu'en se référant à l'ensemble des systèmes aquifères d'un territoire, d'un bassin, mis en comparaison.

Enfin, l'évaluation de la ressource en qualité doit aussi prendre en compte les facteurs plus ou moins stables de ces états, qui peuvent assurer sans défaillance la reproduction des qualités ou au contraire sont spontanément changeants ou sont exposés à des modifications qui rendent l'eau vulnérable à des atteintes pouvant altérer ses qualités. Bien que les eaux souterraines soient, on l'a dit, beaucoup moins que les eaux superficielles réceptrices d'eau directement retournée au milieu naturel après usages -sinon par accident, défaillance (fuites de réseau d'assainissement...) ou pratique abusive- elles sont par contre souvent bien plus exposées aux risques de pollution indirecte par diverses actions en surface. Aussi la ressource en qualités peut-elle comprendre, dans leur cas également, la capacité de résistance aux agressions et/ou de régénération des qualités d'eau (par dissipation, dilution, divers phénomènes hydrogéochimiques ; y compris la dissipation d'éventuels rejets thermiques).

* . . . *

*

* cf. les cartes de qualité(s) normative(s) dérivées de cartes hydrogéochimiques (paramétriques), qui s'appliquent le mieux aux eaux souterraines, plus étendues dans l'espace et plus stables dans le temps que les eaux de surface.

La mise en lumière de la relativité et de la pluralité du concept de ressource en eau souterraine, lorsqu'il s'agit de l'évaluer, ne doit pas conduire à conclure que cette évaluation est sans solution au plan opérationnel. Elle dissuade seulement ceux qui posent la question, aussi bien que ceux qui y répondent, d'évaluer la ressource a priori comme une donnée, en confondant ainsi cette évaluation avec la seule description des potentialités physiques, de l'offre. La ressource potentielle en eau souterraine et plus encore la ressource exploitable sont des résultats de la confrontation conceptuelle entre cette offre et les demandes, aussi ne peuvent-elles s'évaluer indépendamment des utilisations.

Ceci posé, au-delà des principes généraux évoqués, l'évaluation de ressource est d'abord affaire de cas d'espèce. Dans chaque cas concret, les conditions hydrogéologiques réelles, les acteurs directs et indirects en présence ou en prévision, leurs objectifs et leurs moyens propres, les contraintes particulières qui en résultent, ne déterminent qu'une gamme assez limitée de "possibilités", donc conduisent à des évaluations plus ou moins contrastées mais peu nombreuses.

Enfin, en ne se séparant pas des choix d'utilisation, l'évaluation de la ressource est le premier degré de la gestion de l'eau souterraine.

3 - GERER

La gestion n'est plus seulement une opération conceptuelle -elle l'est encore au stade des projets, notamment d'exercices de "gestion prévisionnelle"-, mais un ensemble d'actions à implications dans le réel : effets visés ou résultats. Aussi pourrait-il paraître plus juste de parler de "gestion de l'eau souterraine", plutôt que de "gestion de ressource en eau souterraine"- bien que ces formulations soient interchangeables dans l'usage courant... Considérer qu'une partie seulement des eaux souterraines offre une ressource en eau -potentielle, exploitable...-n'est-il pas déjà un choix de gestion ? "Gérer la ressource" a toutefois une connotation implicite : c'est gérer l'eau souterraine à l'échelle pertinente de systèmes de ressource, donc en tant que bien ou "patrimoine" commun offert et déterminé par les conditions naturelles et non pas seulement "gérer les exploitations" d'eau souterraine en fonction des utilisations. Cela implique une conciliation entre les objectifs d'exploitation d'eau souterraine, le plus souvent individuels et sectoriels- car les usages de l'eau qui la motivent sont variés-, et les objectifs collectifs d'allocation et de conservation de la ressource dans l'intérêt général.

Dans la mesure où la ressource en eau souterraine est souvent interdépendante, à divers degrés, de la ressource en eau de surface, donc se présente comme une part relative de la ressource en eau totale d'un territoire donné, il va de soi que sa gestion sera également plus ou moins indissociable de celle des eaux de surface, donc qu'elle doit s'intégrer dans la gestion des eaux comme un tout.

Gérer un bien naturel -une "ressource"- aussi bien qu'un patrimoine économique, une entreprise, un revenu ou tout autre objet, c'est accorder les actes qu'on leur applique à une finalité : toute gestion implique donc des acteurs -et des niveaux de décision correspondant- et des objectifs, mobiles de leurs décisions. En

préalable à un regard sur la gestion de l'eau souterraine, il convient donc de bien identifier les acteurs en jeu et leurs objectifs, et pour commencer de bien discerner le "décor" de leurs actions : les structures physiques et les institutions qui conditionnent les champs et les modalités de gestion.

3.1 - Théâtre physique

L'eau souterraine ne se gère pas uniformément, comme un élément indéfini, ou en se référant seulement à des domaines définis administrativement - même si l'application de certains instruments de gestion, d'ordre réglementaire, peut nécessiter une telle référence-. Des cadres physiques de gestion doivent être définis : les plus pertinents sont ceux qui convenaient déjà pour décrire et évaluer la ressource en eau souterraine, c'est-à-dire les systèmes aquifères qui forment, on l'a vu, des "systèmes de ressource en eau souterraine". On a déjà esquissé (cf. supra 1.4) leur typologie et signalé en quoi les différentes structures naturelles conditionnent les choix de gestion en offrant différents degrés de liberté d'action sur l'eau souterraine et en imposant plus ou moins de contraintes de protection et de conservation.

C'est en se référant aux champs de ces systèmes que doivent être définis des ensembles d'acteurs solidarisés objectivement par les conditions physiques du milieu et ayant une même ressource en partage -que ce soit pour l'exploiter ou l'influencer-. Hormis le cas de systèmes aquifères indépendants en pratique des systèmes de ressource en eau superficielle, ces cadres naturels de gestion de l'eau souterraine sont eux-mêmes inscrits dans des systèmes de ressource en eau globale et par conséquent les acteurs correspondants seront également des sous-ensembles d'acteurs de la gestion des eaux en général.

3.2 - Décor institutionnel : le droit

Autant que les lois et les structures de la Nature, les lois humaines et les institutions, moins immuables mais néanmoins souvent rétives aux changements..., font partie du décor de la gestion de l'eau et concourent largement à déterminer ses marges de manoeuvre et ses modalités.

Selon le statut juridique de l'eau souterraine et le droit de son accession et de son usage -attachés avec plus ou moins de restriction à la propriété foncière, ou soumis au même régime que les eaux superficielles-, selon l'étendue des pouvoirs de police des eaux et de planification de l'utilisation des eaux -appliqués aux eaux souterraines- détenus par des autorités publiques, donc selon les "règles du jeu" imposées aux acteurs, il va de soi que les voies de la gestion des eaux souterraines et la possibilité même de lui assigner des objectifs d'intérêt général peuvent différer beaucoup. Face à la continuité du cycle de l'eau et à l'unicité de la ressource en eau dans chacun de ses systèmes naturels, l'unité ou au contraire la pluralité de statut juridique de l'eau et des droits d'usages de l'eau selon les milieux physiques sont donc une condition déterminante de la gestion de l'eau souterraine, notamment par les instruments réglementaires évoqués plus loin (3.5) dont les portées théoriques et pratiques peuvent être très différentes.

3.3 - Actions et acteurs

Toute gestion implique des gestionnaires.

Gérer l'eau souterraine est d'abord l'affaire de ceux auxquels elle offre une ressource accessible, qui l'exploitent -ou se la réservent en vue d'exploitation future- ou encore l'influencent d'une manière ou d'une autre, et qui l'ont en partage à l'instar d'une "copropriété" de fait dans un champ spatial défini. Mais l'eau souterraine peut aussi offrir une ressource pour d'autres, notamment aux utilisateurs de la même eau en aval après son émergence, ou encore offrir une utilité indirecte à des agents qui ont intérêt à sa conservation, parties prenantes aussi à sa gestion. C'est pourquoi la gestion de l'eau souterraine est aussi nécessairement l'affaire de "médiateurs" qui représentent et concilient des intérêts multiples, parfois contraires.

Deux niveaux d'action, d'acteurs et de décision se discernent, et correspondent à deux niveaux d'objectifs de gestion :

- (a) - Les actions directes sur l'eau souterraine (prélèvements, déversements et injections, modifications de niveau, notamment de condition de potentiel à certaines limites de système aquifère...) ou les activités qui influencent indirectement par leurs impacts le régime ou les états en qualités d'eaux souterraines -ainsi que leurs "négatifs" : abstentions ou interruptions d'actions...- sont le fait d'agents économiques variés, producteurs (notamment d'eau "bien économique" marchand), ou consommateurs qui s'approvisionnent eux-mêmes.

Ces agents sont relativement nombreux par rapport à ceux qui ont prise sur les eaux superficielles, pour plusieurs raisons :

- d'abord du fait de l'extension des aquifères accessibles dans une grande partie des "espaces économiques" : il y a beaucoup plus d'occupants du sol à sous-sol aquifère que de riverains de cours d'eau, en général et plus particulièrement en zone aride à cours d'eau rares ;
- puis du fait que l'exploitation d'eau souterraine ne requiert pas d'aménagement d'utilité collective à l'instar des barrages d'accumulation et de régularisation d'eau de surface, et est donc à la portée économique de nombreux agents particuliers ;
- enfin parce que les occupants du sol sont d'emblée "ayant-droit" sur l'eau souterraine lorsqu'elle est attachée à la propriété foncière -comme c'est le cas en France, avec quelques restrictions locales- alors que beaucoup de cours d'eau de surface, du moins les plus importants, appartiennent au domaine public.

- (b) - Les interventions sur les comportements de ces agents pour infléchir leurs actes dans un sens ou un autre (les atténuer ou amplifier, les déplacer ou les différer...) -actions au deuxième degré-, sont le fait d'acteurs dotés de pouvoirs appropriés : émanations de pouvoirs publics, de collectivités territoriales..., qui sont en règle générale moins nombreux et répartis en fonction de l'organisation administrative du pays, de la division géographique et sectorielle des attributions. Pour eux, la gestion se ramène essentiellement à l'"administration" et à la police des eaux souterraines.

Les acteurs qui jouent des rôles dans la gestion des eaux souterraines peuvent encore se répartir selon deux dichotomies :

- ceux qui sont **usagers** et/ou **bénéficiaires**, distingués des **intermédiaires** non usagers,
- ceux qui sont seulement **exploitants**, seulement **aménageurs**, ou les deux, en entendant ici par "aménageur" tout agent qui influence directement ou indirectement l'eau souterraine, son régime et/ou ses qualités, sans l'utiliser (par l'exhaure ou le drainage, par le mode d'occupation du sol...),

dont le "croisement" permet une classification dans le tableau 1.

N.B. : Les usagers d'eau non exploitants, desservis par des agents intermédiaires (soit par approvisionnement, soit par raccordement à l'assainissement collectif) sont écartés de cette classification dans la mesure où ils n'ont pas prise directe sur l'eau souterraine et sont moins sujets aux interventions des "gestionnaires" du niveau (b). Toutefois leurs propres demandes (d'approvisionnement, de service d'assainissement) qui sollicitent les agents intermédiaires ne sont pas sans influence sur les actes d'exploitation de ceux-ci -notamment d'exploitation d'eau souterraine- ; aussi peuvent-ils aussi dans certains cas être sujets à intervention, pour modérer leurs demandes (amélioration des rendements d'usages, réduction de fuites, recyclages...) et pour réagir en conséquence sur les actes d'exploitation des intermédiaires. (Ceci indépendamment des pressions exercées par ces intermédiaires sur les usagers desservis en vue de leurs propres objectifs d'entreprises de service).

3.4 - Objectifs de gestion

- Au niveau (a) prévalent les objectifs micro-économiques de production ou de consommation dont l'eau souterraine est au mieux un facteur, une "matière première", voire un vecteur, ou seulement un "sujet" récepteur d'impact, d'"effet externe" (pour qui les causent...). Les agents exploitants directs d'eau souterraine - pour s'approvisionner en eau ou pour produire de l'eau à distribuer- gèrent chacun individuellement leur production d'eau selon leurs critères propres, mais non la ressource elle-même tant que cette production ne subit pas les contre-coups de sa propre influence sur le milieu (rétroactions...) : ces agents n'ont pas d'objectif de "gestion de la ressource" en tant que tel. Il en est de même pour les agents qui extraient l'eau souterraine non pour en faire usage, mais pour en "débarrasser" le sous-sol à occuper ou à exploiter (exhaure des mines...), et pour lesquels cette eau n'est pas une ressource mais un obstacle à éliminer pour atteindre leur objectif de production minière ou d'utilisation de l'espace souterrain.

De toute façon les champs d'actions particuliers de chaque exploitant ou agent "influent indirect" ne coïncident pas, sauf rare exception, avec celui du système aquifère qu'ils sollicitent. Ils sont souvent à une toute autre échelle.

Tableau 1

**CLASSIFICATION DES ACTEURS DE L'AMENAGEMENT,
DE L'EXPLOITATION ET DE LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES**

		Usagers, bénéficiaires	Intermédiaires, non usagers
Aménageurs	Aménageurs non exploitants	Industries extractives, occupants de l'espace souterrain, occupants du sol, opérateurs d'aménage- ment hydrauliques, etc. de surface à incidence sur l'eau souterraine (régime, qualités...)	Administrations et organismes publics maîtres d'ouvrage
	Aménageurs exploitants	Entreprises ou syndicats d'irrigants, industries non raccordées (avec aménagement : barrage souterrain, recharge artificielle...) Industries extractives, occupants de l'espace souterrain, opérateurs d'exhaure	Producteurs-distributeurs d'eau potable, d'eau industrielle, d'eau d'irrigation
Exploitants	Exploitants non aménageurs	Usagers-exploitants d'eau (sans aménagement) : ménages, industries non raccordées, irrigants. Exploitants d'énergie géothermique usagers	Producteurs-distributeurs d'eau potable, d'eau d'irrigation (sans aménagement). Exploitants d'énergie géothermique distribu- teurs (réseau de chaleur)

La somme des actions individuelles de ces agents a vis-à-vis de la ressource le caractère d'une "gestion de fait" parcellisée, avec l'objectif implicite de conserver les conditions de production de chacun.

- Au niveau (b) peut prévaloir un objectif macro-économique et le champ de compétence territoriale d'une autorité de gestion instituée peut correspondre à l'"unité de gestion" naturelle qu'est un système aquifère -ou du moins l'englober- C'est à ce niveau seul que des objectifs d'intérêt général (mais non nécessairement tous compatibles) peuvent se définir et se hiérarchiser :
 - Prévenir et arbitrer les conflits entre agents individuels co-exploitants (ou influents) d'un même système aquifère, et faire respecter les contraintes externes, c'est-à-dire prévenir des conflits entre la communauté des utilisateurs d'eau souterraine et une collectivité plus large d'utilisateurs d'eau ou d'espace, superficiel ou souterrain : en somme les objectifs minimaux et les plus courants de la Police des eaux, pour ce qui concerne les eaux souterraines.
 - Conserver les **productivités**, l'"accessibilité" de l'eau souterraine, donc les niveaux dynamiques initiaux ("prime" aux exploitants premiers installés...).
 - Conserver la **ressource potentielle** en quantité comme en qualités, dans l'intérêt de la communauté des exploitants actuels ou futurs -objectif plus large que le précédent- : empêcher des excès d'exploitation dont les conséquences dégraderaient la renouvelabilité (la "reproduction spontanée" du flux) ou les qualités de l'eau.
 - Allouer de manière préférentielle la ressource en donnant priorité à certaines demandes présentes ou futures (par exemple : alimentation en eau potable), ce qui peut se traduire par des "réservations" : arbitrage plus planificateur ou dirigiste à objectif d'intérêt général et à long terme.
 - Intensifier l'utilisation de la ressource jugée "sous-exploitée", de préférence à d'autres ressources en eau pour satisfaire certaines demandes : objectif de "valorisation" (ne pas laisser "inemployé" un facteur de production, un potentiel dont l'utilisation peut concourir au développement socio-économique...).

La ressource en eau souterraine étant partie intégrante de la ressource en eau globale -sauf cas d'espèce particulier-, on l'a assez souligné, ces différents objectifs de gestion de l'eau souterraine sont bien évidemment subordonnés eux-mêmes à des **objectifs de gestion des eaux en général**, à concilier parfois avec des objectifs de gestion du sous-sol (ressources minières, espace souterrain), voire du sol, et en dernière analyse ils sont subordonnés à des objectifs socio-économiques plus généraux, définissables à l'échelle de la communauté correspondante.

Enfin ces objectifs peuvent se contrarier : une gestion conservatrice n'est pas compatible avec une gestion poussant au développement qui implique des transformations et des redistributions... Des objectifs prioritaires sont à fixer et leur choix est le premier choix de la gestion.

3.5 - Contraintes et servitudes

A chacun des deux niveaux, la gestion des eaux souterraines est ainsi une gestion sous contraintes qui résultent soit des critères internes aux exploitants, soit d'obligation de respecter des servitudes procédant d'arbitrage entre les intérêts propres des

exploitants et ceux de tiers (occupants du sol, utilisateurs d'eaux de surface...), déjà mentionnées à propos de l'évaluation de ressource, et de la distinction entre ressource exploitable et ressource potentielle :

- Contrainte de coût de production maximal acceptable, ou du moins supportable, par les exploitants -et variable selon les utilisations de l'eau...-.
- Contrainte de conservation de qualité, lorsque celle-ci risquerait d'être altérée par les effets de l'exploitation (déplacement induit d'eau salée, notamment dans les nappes souterraines littorales, mais pas seulement).
- Contrainte de conservation d'eaux de surface subordonnées (sources, cours d'eau pérennes), qui peut résulter d'arbitrage entre usagers respectifs des eaux souterraines et des eaux superficielles, donc entre leurs objectifs propres du point de vue de l'intérêt plus général.

Réciproquement la gestion des eaux souterraines peut imposer, pour conserver et/ou protéger la ressource, des servitudes, donc des contraintes à d'autres agents :

- aux aménagements et/ou utilisations d'eaux de surface, lorsque ceux-ci risquent d'influencer le régime ou les qualités des eaux souterraines dans un sens préjudiciable à leurs exploitants ;
- à divers activités d'occupation du sol et du sous-sol : prévention des baisses de niveaux induites par l'exhaure, des pollutions...

3.6 - Modalités et instruments de gestion

Cette gestion à deux étages vaut pour la gestion des eaux en général, mais ce qui est particulièrement spécifique à la gestion de l'eau souterraine -et qui en fait la difficulté- c'est que :

- les agents du niveau (a), on l'a dit, n'ont pas spontanément d'objectif de "gestion de ressource" et leurs champs d'action individuels ne se situent pas, en général, à l'échelle pertinente des "systèmes de ressource", alors qu'ils ont seuls prise directe sur l'eau souterraine -les effets de leurs actes se cumulant à l'intérieur d'un même système aquifère- ;
- tandis que les autorités de gestion du niveau (b), lorsqu'elles existent, peuvent définir des objectifs pertinents et collectifs de gestion et sont bien adaptées à l'échelle voulue, mais n'ont par contre aucun moyen d'action directe sur l'eau souterraine (sauf cas particulier*) : elles peuvent seulement intervenir sur les agents exploitants ou "aménageurs" par différents "instruments de gestion" indirects classiques et bien connus, qui sont de trois sortes :

* cas assez rare où une autorité de gestion dispose d'instrument technique d'aménagement opérationnel, mentionné ci-après en N.B.

- . instruments réglementaires (fondés sur des bases législatives et juridiques),
- . instruments financiers (qui peuvent aussi avoir un fondement législatif),
- . instruments d'information, de développement de la conscience collective des agents et d'un comportement "auto-gestionnaire".

N.B. : Il est en effet exceptionnel que, pour gérer l'eau souterraine à l'échelle d'un système de ressource, des instruments techniques d'aménagement soient mis en oeuvre par une autorité de gestion ad hoc, contrairement à ce qui se fait couramment pour gérer les eaux de surface. La mobilisation des eaux souterraines se passe généralement d'aménagement, hors quelques cas très particuliers (opérations d'alimentation artificielle, barrage souterrain de réglage de niveaux au service d'une collectivité d'utilisateurs, qui impliquent bien alors des "gestions d'ouvrage" similaires à celles de barrages-réservoirs).

Dans la pratique contemporaine, on tend souvent -en France et ailleurs- à réduire la gestion de l'eau, et celle de l'eau souterraine en particulier, aux seules interventions du niveau (b) et plus particulièrement à l'"administration des eaux". De fait la littérature descriptive, voire édifiante, sur la "gestion des eaux souterraines" ou des eaux en général limite son sujet à la répartition des prérogatives et attributions administratives, aux principes et aux procédures réglementaires de la "Police des eaux", aux organes et modalités d'intervention : c'est oublier que la gestion effective de l'eau souterraine est d'abord exercée par les agents qui ont prise sur elle, et cela conduit, en corollaire, à confondre bien souvent la prise de "mesures de gestion" (institution de réglementation, mise en place de mécanisme d'incitation financière, campagnes d'information et de sensibilisation) avec l'obtention effective de résultats au niveau (a). C'est en somme confondre la "gestion potentielle" avec la gestion réelle...

La "gestion administrative" du niveau (b) doit en pratique comporter l'enchaînement complet de :

- la mise en place des "instruments" (règlements, mécanismes d'incitation financière, circuits d'information),
- la volonté et la possibilité de les mettre en oeuvre (parfois entravée par les comportements de l'une ou l'autre des parties ou par le défaut de moyens de fonctionnement des autorités de gestion, voire le défaut de pouvoir face à certains intérêts ou groupes de pression),
- l'obtention et le constat de résultats, qui supposent une efficacité des interventions, et leur contrôle.

* . *

*

3.7 - Instruments d'aide aux décisions de gestion

Il convient encore de ne pas confondre ces instruments de gestion avec les outils techniques d'aide aux décisions de gestion dont la mise en oeuvre, par des opérateurs d'études attachés aux autorités de gestion ou leur fournissant des services contractuels, vise seulement à produire des informations convenables comme éléments de décision. Ces outils comprennent principalement :

- (a) - les **systèmes de conservation de données** sur les structures et des historiques de données variables, régulièrement actualisés : **banques de données** fournissant à la fois les états de référence pour apprécier les situations évolutives (- cf. (b)) et pour construire ou actualiser les modèles de simulation (- cf. (c)) ;
- (b) - les **dispositifs de suivi de situation** (réseaux d'observation), puis de présentation et de diffusion des résultats dans les formes et les délais voulus (fonction d'"observatoire") ; rappelons que les variables à suivre sont essentiellement :
 - les **niveaux piézométriques**, en particulier dans les aires influencées par des exploitations croissantes ;
 - les **débits** de sources ou de cours d'eau émissaires d'aquifères exploités (en basses eaux) ;
 - différents **paramètres de qualité** de l'eau, susceptibles de variation ;
 - les **prélèvements** et éventuellement les déversements.
- (c) - les **modèles de simulation** hydrodynamiques, voire hydrochimiques à capacité prédictive, permettant de calculer les conséquences de différents scénarios envisagés, y compris sous l'effet d'intervention de gestion à décider (simulation de gestion prévisionnelle).

N.B. : La dénomination courante, mais elliptique, de "modèles de gestion" donnée à ces derniers outils ne doit pas pour autant les faire confondre avec des instruments d'intervention qu'ils ne sont pas ; ils ne génèrent par eux-mêmes aucun objectif de gestion...

3.8 - Conditions d'une gestion réelle des eaux souterraines

Gérer l'eau souterraine en tant que "bien commun", dans un cadre physique pertinent, implique :

- Une **correspondance** assez approchée entre les champs du système physique de ressource -le système aquifère- et du système socio-économique formé par l'ensemble des agents concernés dans l'espace (territoire) et la durée considérés.
- Un corps minimal d'**objectifs communs**, accompagné d'une prise de conscience assez générale de cette communauté d'objectifs (consensus).
- Un niveau et un **pouvoir de décision** organisés, donc une **autorité de gestion** dotée de moyens d'information, d'intervention et de contrôle efficaces.
- Une discipline collective des agents, éloignée du "laisser-faire".

Cela suppose :

- Une **conciliation** (concertée, arbitrée...) des objectifs :
 - au sein de l'ensemble des agents utilisateurs d'eau -ou d'espace-intéressés, d'une part,
 - au sein du sous-ensemble des utilisateurs d'eau souterraine, d'autre part.
- Une **coordination** (sinon une unification difficile à réaliser) des intervenants -des "gestionnaires" du niveau (b)- entre lesquels peuvent être répartis :
 - des pouvoirs et des instruments d'intervention différents (en nature, en portée),
 - des responsabilités sectorielles ou catégorielles, donc des finalités différentes (cf. les finalités spécifiques aux administrations de l'Agriculture, de la Santé, de l'Industrie et des Mines, -souvent en charge de la police du sous-sol, donc des eaux souterraines-, de l'Équipement -qui peut inclure l'Hydraulique-, de la Protection de la Nature et de l'Environnement), ce qui implique aussi une conciliation des objectifs d'intérêt général, à ce niveau.

3.9 - Evaluer la gestion ?

Comme la ressource en eau, la gestion des eaux s'évalue puisqu'elle est communément qualifiée "bonne" ou "mauvaise" -sans oublier "rationnelle", voir "optimale", autres formes de bonne note-, ce qui implique à défaut de critères moraux une référence normative ou logique. Ces jugements de valeur, très relatifs aux critères de l'évaluateur, s'appliquent en fait :

- soit aux **objectifs de gestion**, à commencer par l'existence même d'objectifs explicites (au point qu'une "mauvaise" gestion serait simplement une "gestion de fait" sans objectifs attachés à la ressource en eau souterraine en tant que telle), ou plus précisément en considérant la cohérence de ces objectifs spécifiques avec ceux de la gestion des eaux et plus largement de l'environnement et les objectifs plus généraux de la politique socio-économique : une "bonne gestion" serait une gestion visant de "bons" objectifs ;
- soit à la **cohérence** entre ces objectifs spécifiques de gestion de l'eau souterraine et les actes de gestion effective : actions d'exploitation, de conservation et de protection (c'est-à-dire de non-agression) ; il s'agirait en somme d'évaluer l'écart possible entre la gestion potentielle et la gestion réelle (cf. supra 3.6) : une "bonne gestion" serait une gestion cohérente accordant avec logique actes et objectifs.

C'est là qu'il faut se garder de faire passer la "rationalité" technique des instruments et des opérations d'aide aux décisions -notamment les procédures d'optimisation- pour une "rationalité" des objectifs qui dépendent de toute façon de choix socio-économiques et politiques.

A défaut de relativisation à des critères explicites, des jugements de valeur sur la gestion de l'eau -souterraine ou autre...- ne sont qu'incantation et logomachie.

En péroration -plutôt que conclusion- à ce parcours inachevé d'idées demeurées sans doute trop au plan général, on peut s'arrêter sur deux points de vue :

1 - L'un est d'ordre sémantique :

En matière de ressource en eau souterraine une clarification des concepts, accompagnée d'une rigueur plus grande du langage, est la condition d'une analyse plus correcte des problèmes posés et de leur résolution plus efficace, ne serait-ce qu'en facilitant les dialogues entre parties prenantes.

2 - L'autre est d'ordre opérationnel :

L'hydrogéologue a des rôles à jouer -mais des rôles distincts- aux trois stades passés en revue :

- . au stade de la définition et de la description de la ressource, il lui appartient d'acquérir et d'exprimer les connaissances du milieu physique, ainsi que leurs implications technico-économiques, organisées en "modèle d'offre" ;
- . au stade de l'évaluation, il doit contribuer à l'élaboration de scénarios d'exploitation techniquement viables et au calcul de leurs conséquences tant internes qu'externes ; il doit aussi traduire avec cohérence en implications physiques les diverses contraintes internes ou externes qui peuvent découler des objectifs optionnels envisagés ou déclarés ; il n'a cependant pas à se substituer aux évaluateurs auxquels revient le choix des critères ;
- . au stade de la gestion, il lui revient d'y concourir, sans se substituer aux gestionnaires, en produisant et en exposant des informations nécessaires aux prises de décision -au niveau des exploitants comme à celui des autorités de gestion intervenantes- dans des formes directement utilisables :
 - * sur l'évolution d'état du milieu et éventuellement des résultats des opérations entreprises,
 - * sur la prévision d'états futurs selon diverses hypothèses (tant sur les facteurs naturels que sur les opérations),
 - * sur les conséquences d'interventions projetées, compte tenu des délais de réponse et de leur efficacité présumée.

Encore faut-il que des structures adéquates d'intercommunication entre experts et décideurs existent et fonctionnent, pour que les informations produites par les premiers conviennent -en nature, en degré de précision, en coût d'élaboration- aux demandes des seconds....

Enfin l'hydrogéologue ne doit pas confondre cette aide aux décisions de gestion avec la gestion elle-même.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

- BACHMAT Y. et al. (1980).- Groundwater Management: the use of numerical models. (Amer. geophys. Un., Wat. res. monogr. 5, 127 p. Washington).
- BEAR J., LEVIN O. (1967).- The optimal yield of an aquifer (Assoc. intern. Hydrol. scient. sympos. Haïfa, SLAH/UNESCO/DHI, Publ., AISH n°72, p. 401-412 - Gentbrugge).
- BOWEN R. (1980).- Ground Water (Appl. Sc. Publ. 227 p. London).
- CASTANY G. (1968).- Prospection et exploitation des eaux souterraines. Chap. 10, Réserves et ressources en eaux souterraines. (Dunod, 717 p. - Paris).
- ERHARD-CASSEGRAIN A., HUBERT P., MARGAT J. (1979).- Quelles ressources en eau peut-on et veut-on utiliser ? (3ème Journées scientifiques l'Eau, la Recherche, l'Environnement, Limoges - Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Paris, pp. 511-528).
- ERHARD-CASSEGRAIN A., MARGAT J. (1983).- Introduction à l'économie générale de l'eau (Masson, 361 p., Paris).
- HUBERT P. (1984).- Eau et société. Une introduction à la gestion de l'eau. Chap. XI - Aspects de la notion de ressource en eau, chap. XIV. Gestion des eaux souterraines. (Ed. Ellipses, 192 p., Paris).
- MANDEL S. (1979).- Problems of large scale groundwater development. (Journ. Hydrol. 43, n°1-4, Oct., p. 439-443, Amsterdam).
- MANDEL S., SHIFTAN Z.L. (1981).- Groundwater Resources. Investigation and Development. Notamment : chap. 13 "Criteria for the Regional Exploitation of Groundwater". (Acad. Press. 369 p. - New-York).
- MARGAT J. (1976) - Analyse des systèmes aquifères et évaluation des ressources en eau souterraine. (Doc. BRGM 76 SGN 532 AME, 34 p. - Orléans).
- MARGAT J. (1977) - Des ressources en eau souterraine potentielles aux ressources exploitables (Colloq. nat. Eaux sout. approv. eau Fr., BRGM Nice, oct., T.II, p. 379-391 - Orléans).
- MARGAT J. (1977) - De la surexploitation des nappes souterraines. (Colloq. nat. Eaux sout. approv. eau France, BRGM, Nice oct. 1977, T.II, p. 393-408 -Orléans).
- MARGAT J., ROCHE M. (1978).- Aspects techniques de l'acquisition et de la gestion des données (CEFIGRE/OMM, Séminaire sur la gestion des données utiles à la politique de l'eau. Mém. CEFIGRE S-04-F, p. 25-68 - 1979, Sophia-Antipolis).
- MARGAT J. (1979).- Les contributions de l'hydrogéologie à l'élaboration des schémas d'aménagement des eaux (in ERHARD-CASSEGRAIN A., MARGAT J., "Hydrogéologie et aménagement des eaux", Doc. BRGM 79 SGN 782 HYD, Nov. Orléans).

- MARGAT J. (1982).- Exploitation ou surexploitation des réserves d'eau souterraine ? / Development or overdevelopment of groundwater reserves ? (UNESCO - Com. nat. Bulg., PHI, Colloq. intern. Calcul bilan eaux sout., Varna, Bulgarie, Sept.-Oct., 11 p.).
- MARGAT J. (1982).- La gestion des eaux souterraines. (Sess. form. continue Gestion des eaux Ec. nat. Ponts et Chaussées, Av. Paris / BRGM, note tec. EAU 82/08, 54 p., Orléans).
- MARGAT J., SAAD K.F. (1983).- Concepts for the utilization of non-renewable groundwater resources in regional development (Natural Resources Forum, Vol. 7, n°4, pp. 377-383, U.N. New-York).
- MARGAT J. (1985).- Groundwater conservation and protection in developed countries (Mém. Assoc. intern. hydrogéol., XVIII, 18ème congrès AIH, Cambridge, I, Keynotes papers, p. 270-301 / Conservation et protection des eaux souterraines dans les pays développés, doc. BRGM 85 SGN 611 EAU, Orléans).
- MARSILY G. de (1981).- Hydrogéologie quantitative. Chap. 6, les systèmes aquifères (Masson, 215 p. Paris).
- SCHOELLER H. (1962).- Les eaux souterraines in chap. IX. L'exploitation des nappes. (Masson, 642 p., Paris).
- VALIRON F. (1984).- Gestion des eaux - Principes, moyens, structures. (Cours de l'ENPC, Presses de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, 343 p., Paris).
- WALTON W.C. (1970).- Groundwater resource evaluation. Development and management of aquifers. (Mc Graw-Hill, 664 p., New-York).
- WRIGHT C.E. ed. (1980).- Surface water and groundwater interaction (UNESCO, Stud. & rep. in hydrology, 29, 123 p., Paris).
- COLLECTIF (1972).- Groundwater management (ASCE, Manuals and Reports on Engineering practice, n°40, 216 p., New-York).
- COLLECTIF (1983).- Groundwater in water resources planning (UNESCO, IAH, IAHS, Nat. Com. Fed. Rep. Germany, Proceed. Internat. Symposium, Coblenz, Août-Sept. 1983, 3 vol.).
- COLLECTIF (1983).- Groundwater protection strategies and practices (NU/CEE, Sémin. Athènes, Oct. 1983, Proceed. Publ. Minist. énergie et ressources naturelles, Grèce, 501 p., Athènes).
- NU/CEE, avec concours de D. CAPONERA (1984).- La législation des eaux souterraines dans la région de la CEE (NU/Comm. Econ. pour l'Europe, Com. problèmes de l'eau. 16e session Nov. -Note commune des secrétariats de la CEE et du PNUE, Doc. WATER/R119 du 15 oct. 1984).
- NU/CEE (1984).- Stratégies de protection des eaux souterraines (NU/Comm. écon. pour l'Europe, Com. problèmes de l'eau, 16ème session, Nov.- Projet de rapport établi avec le concours du Secrétariat par les rapporteurs gouvernementaux de la France, de la Grèce, de la R.D.A., et de la R.S.S. d'Ukraine. 10 p. Genève).
- ANONYME (1980).- Essentials of groundwater hydrology pertinent to water resources plannings (U.S. Water Res. Council, Bull. 16 révis. 38 p. - Washington).

