



BRGM

L'EAU SOUTERRAINE EN BRETAGNE

Première approche de l'estimation des réserves

PROJET DE PROGRAMME D'ETUDE REGIONAL

par

G. DUROZOY et H. TALBO

76 SGN 488 BPL

Octobre 1976

R E S U M E

Le vieux socle armoricain n'est pas dépourvu d'eaux souterraines. Certes, en profondeur, les roches qui constituent un pourcentage important de la superficie du territoire sont compactes et imperméables. Mais, à leur partie supérieure, elles sont altérées et fissurées et renferment des ressources non négligeables.

Le grand nombre de forages exécutés au "marteau fond de trou", depuis 1975 - et qui se sont accrus en 1976 pour pallier en certains secteurs, dans la mesure du possible, les conséquences de la sécheresse estivale - a montré que l'on pouvait aisément obtenir par forage des débits allant de 100 à 2000 m³ jour.

Certes de tels débits ne peuvent satisfaire les besoins de grosses agglomérations. Mais ils peuvent fournir un débit complémentaire intéressant en période de pointe et assurer l'alimentation d'agglomération de faible importance, voire permettre l'irrigation de petites exploitations.

De plus l'intérêt des eaux souterraines - quand elles existent - est évident : qualité meilleure et plus stable, coût de traitement nul ou moindre, meilleure protection que les eaux de surface contre les risques de pollution, investissements et coût d'exploitation moindres.

Pour que l'eau souterraine puisse prendre, dans l'Ouest de la France et particulièrement en Bretagne, la place qu'elle devrait occuper, il convient de chercher à acquérir les connaissances de base actuellement absentes sur l'hydrogéologie régionale. Seul un travail global, à l'échelle de toute la Bretagne, à la fois méthodologique et appliqué, permettra d'emmagasiner rapidement et à bon compte la somme d'informations et d'expérience nécessaire à l'insertion rationnelle de l'eau souterraine dans les schémas généraux d'alimentation en eau potable et d'irrigation.

Les techniques de recherches dans les roches anciennes sont maintenant bien au point, on ignore cependant, pour certaines formations, dans quelles proportions les possibilités de débit seraient augmentées par l'approfondissement des forages.

En outre on ignore encore les possibilités de telle ou telle formation géologique, d'une façon générale ou à une échelle régionale plus réduite. Enfin et surtout, on ne connaît pas l'ordre de grandeur des ressources exploitables sans risque d'épuiser à plus ou moins long terme l'aquifère capté. Le but à atteindre est l'approche d'une estimation chiffrée du volume des réserves, ce qui introduit la notion du bilan.

Les opérations à envisager sont en définitive les suivantes :

- 1 - Inventaire des données existantes (forages réalisés et leurs caractéristiques) et mise à jour.
- 2 - Réalisation de pompages d'essai à l'aide d'installations existantes, de façon à définir les relations entre les débits obtenus par émulsion en cours de travaux et les possibilités réelles de production.
- 3 - Observation des exploitations existantes, sur différentes formations géologiques.
- 4 - Equipement de sites expérimentaux (exploitation en fonctionnement complétée par un réseau de piézomètres) incluant des jaugeages sur le bassin versant hydrologique intéressé.
- 5 - Approche d'une évaluation du réservoir (essai de bilan) à partir des résultats obtenus sur les sites expérimentaux et des données climatologiques et hydrologiques existant avec utilisation d'isotopes pour évaluation des vitesses de renouvellement des réserves.

Un tel programme serait échelonné sur quatre années.

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
RESUME	I
SOMMAIRE	III
I - La Bretagne et les eaux souterraines	1
II - Les eaux souterraines dans les roches anciennes - Techniques de recherches	1
III - Résultats et état des connaissances	3
IV - Données manquantes	5
V - Proposition de programme d'étude	6
VI - Objectifs particuliers et recherches	8
VII - Echelonnement et répartition des études et travaux	9
VIII- Programmation des travaux	10
1 - Inventaire des ouvrages existants	11
2 - Observation sur sites expérimentaux	13
3 - Approche d'un essai de bilan	15
OBJECTIFS PARTICULIERS - RECHERCHES	16
IX - Localisation des études et travaux	17
- FINISTERE	17
- COTES-DU-NORD	18
- MORBIHAN	19
- ILLE-et-VILAINE	20

L'EAU SOUTERRAINE EN BRETAGNE

Première approche de l'estimation des réserves

Projet de programme d'étude régional

I - La Bretagne et les eaux souterraines

La Bretagne n'est constituée que de roches anciennes, schistes et grès, et surtout de roches cristallines (granites, gneiss). De tels terrains, jusqu'à une date récente, étaient réputés incapables de renfermer des ressources en eau importantes.

Si effectivement, en profondeur, ces roches compactes et non fracturées sont imperméables, en revanche elles sont très altérées en surface et fracturées sur une certaine profondeur.

Cette zone de fracturations et d'altération peut permettre la constitution de réservoirs capables d'emmagasiner et de restituer des quantités importantes d'eau de bonne qualité. Si un tel magasin aquifère n'est pas susceptible de satisfaire les besoins de grandes agglomérations, il peut constituer une ressource d'appoint aux systèmes d'alimentation à partir des eaux superficielles, notamment en période de pointe et d'assurer l'alimentation de petites collectivités ou de petites exploitations, voire l'irrigation de petites surfaces.

Par ailleurs, les formations gréseuses quelquefois puissantes peuvent aussi constituer des réservoirs aquifères intéressants. Les forts débits d'exhaure nécessaires pour maintenir à sec certaines mines confirment le fait.

Il n'y a pas concurrence mais complémentarité entre les réservoirs aquifères et les eaux de surface. Les ressources en eaux souterraines du massif armoricain ont été exagérément minimisées. Les impératifs économiques comme les impératifs de qualité doivent faire regarder l'eau souterraine comme une richesse naturelle faisant partie du patrimoine régional. Il faut considérer comme une tâche essentielle la mise en exploitation et la protection des réservoirs d'eaux souterraines.

II - Les eaux souterraines dans les roches anciennes. Techniques de recherche

L'emploi d'une technique récente de forage, celle du "marteau fond de trou" a profondément modifié la conception qu'on se faisait jusque-là, de la richesse en eau souterraine des roches anciennes et surtout cristallines.

Les premiers forages au "marteau fond-de-trou" ont été réalisés, dans les formations anciennes du Massif Armoricain, en Juin 1974. L'entreprise ayant introduit cette technique en Bretagne est restée pratiquement seule sur le marché, son activité se développant régulièrement, jusqu'en janvier 1976.

A partir du début de cette année, l'augmentation considérable de la demande, due à la découverte par nombre d'utilisateurs potentiels de la réalité des eaux souterraines et fortement amplifiée par la sécheresse a provoqué une prolifération des sociétés de forage. Il existe actuellement (septembre 1976) plus de 20 entreprises pratiquant le forage d'eau en Bretagne, avec des résultats plus ou moins heureux selon la compétence (parfois très limitée) des entrepreneurs et la qualité du matériel utilisé. On peut estimer qu'il se fait actuellement au moins 200 forages par mois en Bretagne.

Les sources d'information dont nous disposons sont de deux ordres :

- les renseignements qui nous parviennent sur une partie non négligeable des ouvrages réalisés par les entreprises privées pour leur clientèle privée. Il s'agit de forages implantés au hasard, arrêtés souvent à des profondeurs faibles, dès que le débit estimé nécessaire est atteint. Les débits annoncés sont ceux obtenus en cours de forage (émulsion à l'air comprimé) ; ils sous-estiment les possibilités de production, d'autant plus fortement que le débit est important et la profondeur grande.

Ces ouvrages sont souvent mal réalisés (trous non verticaux), mal équipés (tubage insuffisant) et mal exploités (pompes surdimensionnées) ce qui peut notamment entraîner le colmatage rapide de certains d'entre-eux. Leur diamètre est faible et de ce fait, même si les possibilités de l'aquifère capté sont beaucoup plus importantes, ils ne peuvent fournir plus de 12 m³/h (limitation due à la puissance maximale des pompes immergées pouvant être introduites dans ces petits diamètres). En tout état de cause, ils sont la plupart du temps exploités à de faibles débits : quelques m³ à quelques dizaines de m³ par jour. Si leur nombre commence à être grand, leur densité sur le territoire breton reste en moyenne très faible et le risque de surexploitation ou d'épuisement des nappes semble loin de se poser, sauf pour quelques cas particuliers ou dans quelques zones très localisées.

- les renseignements obtenus au cours des recherches conduites et contrôlées par le BRGM pour le compte des communes ou de syndicats intercommunaux d'AEP. Ces recherches comprennent en général :

. une étude géologique et photogéologique permettant de définir les sites à priori favorables ;

. une prospection géophysique, lorsqu'il s'agit de terrains granitiques, de façon à préciser la localisation des zones fracturées ;

. une reconnaissance par sondages mécaniques légers destinée à déterminer l'implantation optimale du ou des forages (épaisseur du recouvrement, évolution des débits avec la profondeur, qualité de l'eau) ;

. un ou plusieurs forages accompagnés de pompages d'essai permettant la détermination des paramètres hydrauliques de l'aquifère (transmissivité et coefficient d'emmagasinement) et les caractéristiques techniques de l'ouvrage d'exploitation qui est réalisé ensuite.

Ces différentes informations, qualitatives et partielles pour les forages d'entreprise, quantitatives et plus complètes pour les recherches du BRGM permettent de dresser un état des connaissances lesquelles progressent d'ailleurs de jour en jour, au moins dans certains domaines.

III - Résultats et état des connaissances

Pratiquement toutes les formations géologiques qui constituent le Massif Armoricaïn sont aquifères, mais les débits obtenus peuvent être faibles. L'obtention de débits plus importants nécessite certaines conditions soit de lithologie particulière, soit de fracturation du sous-sol. Ces conditions favorables ne sont pas rares et peuvent en général être trouvées lorsque les recherches peuvent s'étendre à un territoire suffisant (superficie d'une commune ou d'une fraction de commune, par exemple).

On sait actuellement, par des recherches cohérentes telles qu'évoquées plus haut, trouver des débits d'au moins 20 m³/H par forage de 80 m de profondeur, et pouvant atteindre 100 m³/H en quelques cas.

L'eau est en général peu minéralisée, agressive (pH acide et CO₂ libre en excès) et assez souvent ferrugineuse, composition que l'on retrouve dans la plupart des sources habituellement captées.

- Données fournies par les forages d'entreprises

Bien que succinctes, les informations ainsi recueillies permettent :

- en les reportant sur cartes, d'avoir une bonne idée des formations géologiques et des secteurs géographiques (parmi ceux où un certain nombre de forages ont été réalisés) fournissant les résultats les meilleurs, les moins dispersés, etc... On peut ainsi, en admettant que cette cartographie soit aussi complète que possible et régulièrement mise à jour, cerner avec plus de facilité et d'efficacité les solutions possibles lorsqu'un problème particulier d'une certaine importance se pose dans tel ou tel secteur.

La carte présentée en annexe est loin d'être exhaustive et la localisation des forages n'est souvent qu'approximative. Elle doit être considérée comme un outil de travail très perfectible.

- en les considérant d'un point de vue statistique soit globalement, soit par zones, de déterminer, compte tenu du besoin exprimé, la probabilité de réussite ou d'échec d'un forage implanté au hasard, de définir les débits les plus fréquents et donc les types d'utilisation les plus susceptibles de se satisfaire de ce genre de ressource.

Les statistiques suivantes portent sur 250 forages, réalisés dans des terrains granitiques ou schisteux du Massif Armoricaïn :

- . profondeur moyenne : 49,30 m
- . profondeurs extrêmes : 20 et 103 m
- . débit moyen (émulsion en cours de forage) : 6,2 m³/H
- . débit extrême : 0,2 et plus de 50 m³/Heure

Il a été obtenu moins de	1 m ³ /H	dans	11 %	des cas
	de 1 à	5 m ³ /H	"	44 % "
	de 5 à	10 m ³ /H	"	26 % "
	de 10 à	15 m ³ /H	"	9 % "
	de 15 à	20 m ³ /H	"	5 % "
	de 20 à	30 m ³ /H	"	3,5 % "
	de 30 à	40 m ³ /H	"	1,2 % "
	plus de	40 m ³ /H	"	0,4 % "

Ces données, rassemblées en Mai 1976, sont évidemment très incomplètes, mais si on les reprenait avec un plus grand nombre d'échantillons, les résultats seraient vraisemblablement peu différents, légèrement décalés vers les valeurs hautes (grand nombre de forages réalisés dans des zones favorables telles que : régions de Brest, Saint-Pol-de-Léon, Saint-Malo).

- Données obtenues au cours des recherches BRGM

Les recherches hydrogéologiques que le BRGM a eu l'occasion de mener dans le Massif Armoricaïn sont encore en petit nombre. Plusieurs chantiers sont actuellement en cours ou prévus, dont les résultats seront connus d'ici quelques semaines à quelques mois.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau donné en annexe. Pour la définition des possibilités de production des ouvrages d'exploitation (qui souvent restent à réaliser, les travaux du BRGM s'étant arrêtés au stade du forage d'essai) on a à chaque fois, choisi des hypothèses de calcul de préférence pessimistes.

Ces résultats semblent très encourageants. Les débits obtenus peuvent être relativement limités (250 à 1200 m³/Jour par ouvrage, environ 600 m³/Jour en moyenne) mais ils correspondent souvent aux besoins d'appoint estivaux d'un certain nombre de communes ou de syndicats ; ils sont de toute façon très supérieurs à ceux fournis en moyenne par les ouvrages réalisés au hasard (dans un rapport de l'ordre de 1 à 10). Ils pourraient d'ailleurs être fortement augmentés dans un certain nombre de cas en réalisant des forages plus profonds (des ouvrages de 120 à 150 m de profondeur sont maintenant assez facilement réalisables par les techniques du marteau fond-de-trou).

Si les méthodes et techniques de recherches utilisées sont efficaces, elles n'en sont pas moins perfectibles, tant au niveau de la technologie des forages et sondages préliminaires qu'à celui de la connaissance de l'hydrogéologie du Massif Armoricaïn, qui doit aller en croissant et en se précisant.

IV - Données manquantes

Dans de nombreux secteurs les connaissances géologiques sont trop incertaines pour permettre des implantations rationnelles de forages.

Les données fournies par les entreprises sont incomplètes (qualité chimique de l'eau non étudiée, essais de pompage rationnels non réalisés ne permettant pas de déterminer les relations existant entre les débits obtenus par émulsion à l'air comprimé et les possibilités réelles de production).

Par ailleurs et surtout, on ne connaît pas la dimension des aquifères sollicités, ni leurs conditions de vidange et de recharge naturelles. On ne connaît pas les ressources (volume d'eau exploitable en moyenne annuellement sans risque d'épuisement à plus ou moins long terme des nappes mises en évidence).

Or pour un bassin hydrologique donné, eaux de surface et eaux souterraines ne sont pas indépendantes mais complémentaires les unes des autres. L'écoulement souterrain provenant des nappes libres est drainé par les écoulements de surface. L'exploitation de l'une des formes de ressources, souterraine ou de surface, a, plus ou moins directement et avec un décalage dans le temps plus ou moins grand, une incidence sur l'autre.

A partir des débits de basses eaux des rivières, on peut définir des "indices d'écoulement souterrain" représentant par défaut les volumes transitant annuellement par les formations aquifères d'un bassin versant considéré.

Il apparaît aussi nécessaire, pour chaque aquifère qui sera reconnu et exploité (dans la zone d'altération des roches cristallines ou dans des formations sédimentaires telles que le grès) de s'assurer, dans le temps, de la correspondance entre l'évolution de la piézométrie de l'aquifère prévue par interprétation des résultats des essais de pompage et l'évolution réelle et également, de s'assurer d'une répercussion dans le temps, réelle ou admissible, de la modification du régime des eaux superficielles du bassin.

Pour ce faire, il faut dès maintenant, sur des sites expérimentaux, et pour chaque formation considérée (granit, gneiss, grès, schiste) disposer d'un réseau d'observation sur la nappe exploitée (piézomètre) et le cours d'eau charriant (hydrologie et en particulier régime de basses-eaux)

Il faut s'efforcer, dans un premier temps, d'acquérir des bases de référence :

- en contrôlant un certain nombre d'exploitations bien suivies existant déjà et en observant (au besoin à l'aide de dispositifs complémentaires - piézomètres - à mettre en place) l'incidence de ces exploitations sur les fluctuations piézométriques annuelles. Pour que les résultats et conclusions qui en seront issus soient fiables, les observations ne pourront porter sur des périodes inférieures à deux ans. On obtiendra ainsi l'ordre de grandeur des ressources globalement exploitables aux points surveillés ;

- en installant des sites expérimentaux, secteurs explorés assez complètement (piézomètres, pompes d'essai, analyses chimiques, observations de fluctuations de niveaux) pour que puissent être définis : l'extension des systèmes aquifères (cartes piézométriques permettant de localiser les lignes de partage des eaux souterraines), la nature géologique des roches réservoirs, la chimie des

eaux souterraines (cartes des faciès chimiques), les fluctuations inter-saisonnnières d'ensemble des nappes sous l'influence des conditions naturelles (pluviométrie) et artificielles (pompages). Ces sites expérimentaux, en nombre forcément réduit (deux sites, un dans des terrains granitiques, un deuxième dans des formations schisteuses) devront éventuellement être complétés par quelques installations de surface : pluviomètres et station de jaugeage. Ils pourront soit être installés à l'occasion de recherches pour tel ou tel problème particulier, soit être développés à partir d'un des secteurs déjà surveillés (paragraphe précédent).

Dans un deuxième temps, on cherchera à définir les méthodes d'extrapolation à l'ensemble du département ou à certaines zones particulières des résultats obtenus, des règles et principes généraux qui auront pu être dégagés lors du premier temps.

Il est certain que lorsque les premières bases de référence seront acquises, la progression des connaissances ira en s'accélégrant. Néanmoins, une synthèse générale permettant l'estimation des ressources en eau souterraine de tout ou partie du département ne peut se concevoir avant plusieurs années, étant entendu que d'ici là, nombre de résultats seront obtenus localement.

V - Proposition de programme d'étude

- 1° partie : Inventaire et dispositifs d'observation sur exploitations existantes

Recensement aussi exhaustif que possible des forages réalisés, de leurs caractéristiques, modes d'exploitation, de la qualité de l'eau captée.

Réalisation de pompages d'essai à l'aide d'installations privées en place, de façon à définir les relations entre les débits obtenus par émulsion en cours de travaux et les possibilités réelles de production. On pourra également ainsi préciser dans un certain nombre de cas le "rayon d'influence" des pompages et leur effet sur les ouvrages superficiels, puits ou étangs.

Report des informations sur cartes ayant un fond géologique, détermination des zones les plus favorables à l'eau souterraine.

Observations au niveau d'exploitations existantes - Ces observations nécessiteront l'existence d'au moins 1 piézomètre (forage Ø 105 mm) par point observe, dans le cas contraire la création d'un tel piézomètre est nécessaire.

- . en secteur granitique ou gneissique :
- . en secteur schisteux
- . en secteur gréseux

Les observations : niveaux des nappes et volumes prélevés par pompages, seront faites en moyenne deux fois par mois pendant au moins deux ans (de préférence trois). Des graphiques de fluctuation seront établis qui, par corrélations avec les volumes prélevés et les précipitations aux postes pluviométriques les plus proches, permettront une première estimation globale des ressources pouvant être exploitées aux points observés.

Ultérieurement, il serait très utile, sinon indispensable, que toute installation publique s'adressant aux eaux souterraines soit doublée d'un piézomètre dans lequel les niveaux seront régulièrement mesurés.

Les résultats principaux seront fournis au maître d'oeuvre au fur et à mesure de leur obtention. Ils pourront être utilisés avec son accord pour orienter telle recherche qui pourra se présenter.

Une synthèse sera élaborée par département, à la fin de chaque phase d'étude (annexe)

Le rapport contiendra toutes les données recueillies pendant l'exercice (coupes de forages, tableaux de réserve, graphiques de fluctuation)

- 2° partie : Observation des sites expérimentaux

Définition et mise en place de sites expérimentaux - Les sites expérimentaux pourront être choisis avec plus d'efficacité à l'issue de la phase d'inventaire, mais l'équipement d'un premier site peut être dès maintenant envisagé.

L'équipement d'un site nécessitera :

- un examen géologique préliminaire

- la mise en place d'environ 20 piézomètres pour compléter le réseau constitué par les forages pouvant déjà exister dans le secteur d'étude. La moitié de ces 20 piézomètres pourra déjà exister dans le secteur d'étude. La moitié de ces 20 piézomètres pourra être constituée de forages \emptyset 105 mm, descendus en moyenne à 70 m de profondeur ; l'autre moitié sera constituée de forages wagon-drill (\emptyset 64 mm) descendus en moyenne à 35 m. Chaque point de mesure devra être rattaché au NGF. S'il n'existe pas sur le site ou à proximité, un poste pluviométrique devra être créé. Les mesures sur l'ensemble du réseau piézométrique devront être faites en moyenne 1 fois par mois pendant au moins deux ans.

- la mise en place de deux sites de jaugeage sur le bassin hydrographique intéressé (définition de la section, pose d'échelles, mission de tarage et lecture d'échelles au moins hebdomadaires).

Les résultats principaux seront fournis au maître d'oeuvre à mesure de leur obtention.

Des synthèses partielles seront élaborées à l'issue de chaque phase d'étude (cf. plus loin) et feront l'objet de rapports contenant toutes les informations recueillies pendant l'exercice : coupes des forages, tableaux de mesures, graphiques de fluctuations, etc..

- 3° partie : Approche d'un essai de bilan sur site expérimental.

Une fois défini, à partir de la géologie et de l'évolution de la surface piézométrique dans le temps, la position de l'appareil aquifère dans l'ensemble du bassin hydrologique, il devient possible, en fonction des données climatologiques et hydrologiques, d'approcher du bilan global. A partir de ce bilan pourront être établies, pour un aquifère de même nature, les conditions d'exploitation de la ressource.

Les données recueillies sur le bassin expérimental doivent être replacées dans le cadre climatologique de la Bretagne (rassemblement des données climatologiques) et comparées du point de vue du régime de l'écoulement des eaux aux bassins voisins (débits d'étiage essentiellement).

Des analyses de certains isotopes d'éléments contenus dans l'eau doivent donner des indications sur les vitesses de renouvellement des réserves.

Une synthèse des données recueillies sera donnée à la fin.

VI - Objectifs particuliers et recherches

Les objectifs particuliers concernent la recherche d'eau pour des communes ou syndicats dont les réseaux nécessitent un appoint ou dans des secteurs où des ressources en eau sont présumées mais non mises en évidence, et où les découvertes présenteraient un intérêt économique.

Plan d'une recherche

Contraintes : Dans tous les cas, les sites explorés devront se trouver à moins d'un km d'un point d'injection possible dans le réseau.

Remarque : Dans tous les cas, la commune ou le syndicat demandeur garde à sa charge l'obtention des autorisations d'accès et le paiement des indemnités qui pourraient éventuellement être réclamées par les propriétaires ou locataires des terrains concernés.

Phase préliminaire - Localisation des recherches

Etude géologique et photogéologique, localisation de deux sites à priori favorables.

Première phase - Reconnaissance

- 1 - Prospection géophysique

- . Pour préciser la localisation des zones fracturées.
- . Pour 2 sites : 6 sondages électriques
2000 m de traînées électriques

- 2 - Sondages mécaniques légers :

Recherche des endroits les plus productifs, définition de la qualité de l'eau (teneur en fer), implantation du forage d'essai.

Les sondages mécaniques sont réalisés par battage rapide à l'air comprimé (wagon-drill) en petit diamètre (60 à 90 mm). Profonds de 20 à 50 m, ils fournissent des indications sur la nature et la lithologie du sous-sol, l'épaisseur des horizons de surface altérés, la profondeur d'apparition de l'eau, les débits et leur progression avec l'augmentation de la profondeur. En fin de chaque sondage, des échantillons d'eau sont prélevés et on y dose la teneur en fer total (l'eau contenue dans ces formations est en effet souvent ferrugineuse).

Ces sondages permettent d'avoir une bonne idée du débit que l'on peut attendre de forages de 80 m (2ème phase) de choisir leurs implantations en fonction de ces débits, de la qualité (teneur en fer) de l'eau et des commodités pour le réseau du syndicat.

Pour deux sites : 500 m de sondage.

Deuxième phase :-

La deuxième phase est subordonnée aux résultats de la première. Il convient d'envisager un forage Ø 140 mm, profondeur 80 m, équipé en PVC lanterné, réalisé à l'emplacement choisi au vu des résultats de première phase. Un pompage d'essai de 48 H devra y être effectué, de façon à connaître avec précision les possibilités de production de l'aquifère reconnu. Le forage de reconnaissance pourra être utilisé comme forage d'exploitation mais il ne pourra fournir plus de 12 m³/H, limitation due au faible diamètre de l'ouvrage et à la puissance des pompes immergées pouvant y être installées.

VII - Echelonnement et répartition des études et travaux

L'étude telle qu'elle est conçue, vise à obtenir une estimation globale des ressources en eau du sous-sol de la Bretagne.

Son ampleur implique qu'elle doit obligatoirement s'étaler sur plusieurs années.

Chaque phase d'étude pourra être d'une année calendaire et correspondra à un degré de précision supplémentaire dans la poursuite de l'objectif principal. Le programme de chaque année devra être réexaminé à l'issue de la phase précédente.

L'équipement d'un site expérimental doit s'envisager sur une année (calendaire ou hydrologique) et les mesures s'échelonner sur deux années. L'ensemble de l'opération peut s'envisager sur quatre années et trois sites expérimentaux, l'essai d'extrapolation à la totalité de la région s'opérant la dernière année en disposant de trois années complètes pour les observations sur les points en exploitation et de deux années complètes au moins, pour les sites expérimentaux, et en tenant compte des données climatologiques (établissement de bilans hydriques) et hydrologiques (étude des hydrogrammes de cours d'eau)

Le programme d'étude tel qu'il a été défini, paraît correspondre au minimum devant être entrepris pour le but recherché.

VIII - PROGRAMMATION DES TRAVAUX

Nous donnons en annexe un projet de programme pour les travaux proposés. Il s'agit d'une programmation optimale dont il paraît peu réaliste d'espérer le financement total dans l'immédiat. Elle n'est donc pas chiffrée. Mais il nous a paru préférable de présenter dans un plan cohérent et rationnel toutes les opérations à prévoir. Cela permettra aux responsables de bien voir tous les travaux qu'il faudra bien tôt ou tard réaliser pour arriver à une saine gestion des ressources en eau souterraine de la Région Bretagne. Ils pourront ainsi, mieux choisir, les opérations à réaliser dans l'immédiat.

- 1° - Inventaire des ouvrages existants

Recensement des forages - Analyse de l'eau (TH° Résistivité
Dosage du fer et du manganèse)

B.R.G.M

	Par département (4)	Région
6 mois technicien		140.490
1,5 mois Ingénieur		55.440
1 mois Laborantine		15.435
TOTAL 1	52.841	211.365

- 2° - Mise en place des dispositifs d'observation sur les exploitations existantes

ENTREPRISE

	Par département	Région
250 Forages Ø 125 mm Equipé en PVC lanterne	37.500	

B.R.G.M

B.R.G.M

Préparation, implantation,
suivi des travaux, mise en
place du dispositif d'obser-
vation

1 mois technicien	23.415
1/2 mois ingénieur	18.480

Contrôle des Observations
(1 tournée complète par
trimestre) mise au net

1,5 mois technicien	35.123
1/2 mois Ingénieur	17.325

TOTAL 2	131.843	527.372
---------------	---------	---------

- 3° - Pompage d'essai

B.R.G.M

50 courtes durée 10 de 48 H) 7 mois technicien)		163.905
Encadrement 2 mois Ingénieur		71.610

TOTAL 3	58.879	235.515
---------------	--------	---------

- 4° - Compte-rendu de travaux & documents de synthèse

B.R.G.M

1 mois Ingénieur	34.650
------------------	--------

1 mois technicien	21.105
-------------------	--------

TOTAL 4	55.755	233.020
---------------	--------	---------

	par département	Région
TOTAL 1° partie 1° année	299.318	1.197.272

2° - 3° - 4 année

Mise à jour de l'inventaire

Par année	par département	Région
-----------	-----------------	--------

B.R.G.M

3 mois technicien		70.245
1 mois ingénieur		36.960
1/2 mois Laborantine		7.717
	<hr/>	<hr/>
	28.730	114.922

Contrôle des observations annuelles

B.R.G.M

1,5 mois technicien	35.123	
1/2 mois Ingénieur	17.325	
	<hr/>	<hr/>
	52.448	209.792

Compte-rendus de travaux - documents de synthèse

B.R.G.M

1 mois ingénieur	34.650	
1 mois technicien	21.105	
	<hr/>	<hr/>
	55.755	223.020

TOTAL ANNUEL	136.933	547.734
--------------	---------	---------

TOTAL 2° 3° 4° année	410.799	1.643.200
----------------------------	---------	-----------

<u>TOTAL 1° PARTIE</u>	710.117	2.840.472
------------------------	---------	-----------

Arrondi à	706.000	2.840.500
-----------------	---------	-----------

=====

2° Partie - Observation sur sites expérimentaux

5 - Equipement de deux sites
Prix de revient par site

Entreprise

10 sondages Ø 64 mm profondeur et
20 forages Ø 105 en PVC lanterné
profondeur 70 m 124.250

B.R.G.M

Préparation, implantation, suivi des
travaux nivellement des points de
mesure, mise en route des observa-
tions
2,5 mois technicien 58.537
1 mois ingénieur 36.960

6 - Maintenance des observations

B.R.G.M

1,2 mois technicien 28.098
0,3 mois ingénieur 11.088

7 - Jaugeage sur 2 stations

B.R.G.M

Aménagement 5.000
Tarages (10) 1 mois technicien 23.415
Lecture d'échelle par observateur local 4.000
Installation d'un pluviomètre et main-
tenance (observateur local) 2.500

8 - Compte-rendu des travaux & synthèse

B.R.G.M

0,5 mois ingénieur 18.480
0,5 mois technicien 10.552

TOTAL 5 + 6 + 7+ 8 322.880

1° ANNEE DEUX SITES 645.760

	Région
- 2° année	
B.R.G.M.	
Maintenance des observations sur 2 sites et observations sur 3° site	
B.R.G.M.	
1 mois technicien	23.415
0,5 mois ingénieur	18.480
Compte-rendu de travaux	
B.R.G.M.	
0,7 mois ingénieur	25.872
0,7 mois technicien	16.390
	<hr/>
Total 1 + 2	84.157
Installation d'un 3° site	
Entreprise	124.250
B.R.G.M.	199.675
	<hr/>
Total 3	323.925
- 3° année	Total 2° année 408.082
Maintenance des observations sur 3 sites et compte-rendu des travaux	
B.R.G.M.	84.157
- 4° année	
Maintenance des observations sur le mois et compte-rendu	
B.R.G.M.	42.078
Synthèse générale	
B.R.G.M.	
2 mois ingénieur	69.300
1 mois technicien	21.105
	<hr/>
Total 4° année	132.483
Total 2° partie 4 années	1.272.482
arrondi à	1.272.480

3° Partie - Approche d'un essai de bilan sur bassin expérimental

1° année - étude de 2 sites expérimentaux

1° - Climatologie et hydrométrie

B.R.G.M.

Rassemblement des données climatologiques (Bretagne)
et hydrométriques (débits d'étiage)

0,5 mois ingénieur	17.325
1,5 mois technicien	35.122

2° - Analyses isotopiques

80 échantillons	90.000
-----------------	--------

142.447

2° année

Application des données recueillies sur un essai
de bilan sur 2 bassins expérimentaux

B.R.G.M.

1 mois ingénieur	34.650
0,5 mois technicien	10.552

10 analyses isotopiques	45.000
-------------------------	--------

90.202

3° année

Mise à jour des données climatologiques
et hydrométriques

B.R.G.M.

0,5 mois technicien	11.707
---------------------	--------

Application des données recueillies sur un
essai de bilan sur 1 bassin expérimental

0,5 mois ingénieur	18.480
0,5 mois technicien	10.552

40.739

Total 3° partie - 3 années 273.388

arrondi à 273.390

OBJECTIFS PARTICULIERS - RECHERCHES.

Estimation des dépenses (pour une recherche pouvant trouver en moyenne
500 m³/jour)

Entreprise

500 m de sondage wagon-drill à l'air comprimé.	H.T.	27.500
1 forage Ø 140 mm, profondeur 80 m équipé en PVC lanterné.	H.T.	15.000
1 pompage d'essai à débit constant pendant 48 H.	H.T.	7.000

TOTAL ENTREPRISE H.T. 49.500

T.V.A. en sus

B.R.G.M.

. phase préliminaire.	2.800
. prospection géophysique : 6 sondages électriques et 2000 m de trainées.	17.000
. suivi et interprétation sondages mécaniques, implantation forage d'essai.	18.500
. suivi forage d'essai et interprétation du pompage d'essai réalisé par l'entre- prise. Calcul des possibilités de produc- tion, définition des caractéristiques d'un ouvrage d'exploitation.	8.500

TOTAL B.R.G.M. 46.800

en exemption de T.V.A.

IX - Localisation des études et travaux

FINISTERE

- Exploitations existantes

- Granits ou gneiss - Nouveau forage de CLOARS-FOUESNANT (1 piézo à créer)
- forage des Ets RANOU à ST EVARZEC (1 piézo à créer)
- secteur de ST POL DE LEON - PLOUGOULIN où un assez grand nombre de forages d'irrigation ont été réalisés en 1976 (été) - une vingtaine d'ouvrages peuvent être observés.
- ELLIANT (cité pour mémoire, travaux en cours déjà pris en charge par le Conseil Général et l'Agence de Bassin)

- Schistes - Nouveau forage de CARHAIX (5 piézomètres à créer)

- Grès - Nouveau forage de la Coopérative Agricole de LANDERNAU (1 piézomètre à créer)

- Sites expérimentaux possibles

. CARHAIX (schistes)

- Secteurs de recherche possible

. Grès armoricains : CROZON, TELGRUC, région de MENEZ-HORN, PLOUGASTEL - DAOULAS, région de LANDERNAU, région PLOUIGNEAU - PLOUEGAT, TREMEL, région de TREGOUREZ

. Granit Nord :FOUESNANT, PLOUGERNAU, PLOUDALMEZEAU, Nord de PLOUMOQUER, W de LAMBEZDEC, PLOUNEVENTEC, TOUMAOUZAN, KÉRSAINT, ST POL DE LEON.

Sud : MAHALON, PLONEIS, BONNALEC, ARZANO.

MORBIHAN

- Exploitations existantes (seront définies ultérieurement)

- Sites expérimentaux (seront définis ultérieurement)

- Objectifs particuliers et secteurs de recherche possibles :
 - Granits : BUBRY, INGUINEL

 - Grès : ROCHEFORTEN TERRE, ELVEN, GRANCHAMP, W. de REDON, LA GACILLY, (ST JEAN BREVELAY) GOUVIN (Nord) MALESTROIT

ILLE & VILAINE

- Exploitations existantes

- Granits : LOUVIGNE DU DESERT
MONTAUTOUR

- Schistes : AMANLIS
VALD'IZE

- Sites expérimentaux

- Grès : PAIMPONT

- Granits : ST MALO

- Objectifs particuliers et sites de recherche

- Granits : Massif de FOUGERES

- Grès : VITRE-LIFFRE, ST CHRISTOPHE DU BOIS,
ST-AUBIN CORMIER, HEDE

- Schistes PIPRIAC

TERRAINS ANCIENS DU MASSIF ARMORICAIN

RECHERCHES CONDUITES ET CONTROLEES PAR LE B. R. G. M.

	Localisation	Demandeur	Travaux réalisés	Débits obtenus par émulsion en cours de forage	Possibilités de production. Hyp de fonctionnement 10 h/jour	Observations
Grès Dévonien (?) Grès armoricain ordov. inf.	22 Mûr de Bretagne	Commune	Etude géologique. 2 forages de reconnaissance	60 m ³ / h à 59 m	100 m ³ /h	Exploité depuis le début 1976 à 450 m ³ /jour.
	35 Paimpont	S I A E P	Etude géologique et photogéologique. 7 forages de reconnaissance	36 m ³ / h à 76 m	120 m ³ /h	Ouvrage d'exploitation en cours prévu pour fournir 50 m ³ /h. Extension envisagée.
	22 Paimpol	Département	Etude géologique 3 forages de reconnaissance	30 m ³ / h à 85 m	30 m ³ /h	Lors du pompage d'essai, des effets de limite apparaissent. Pour une exploitation supérieure à 10 h par jour (300 m ³ /jour) le débit possible serait très inférieur (15 m ³ /h seulement) pour une exploitation pendant 1000 h continues.
Formations granitiques	35 St Malo Cancale	S I A E P	Etude géologique et photogéologique - Géophysique sondages légers (900 m) 2 forages d'essai	F1 : 50 m ³ /h à 72,4 m F2 : 21,5 m ³ /h à 81,5 m	F1 : 26 à 65 m ³ /h selon les hyp. de rabattement admissible. F2 : 54 m ³ /h	Un ouvrage d'exploitation Prof. 100 m prévu.
	22 Rostrenen	Commune	Etude géologique et photogéologique. Sondages légers (500 m). 1 Forage d'essai	10 m ³ /h à 76 m	26 m ³ /h	Un deuxième ouvrage est envisagé à 80 m du premier, ce qui porterait les possibilités de l'ensemble à 45 m ³ /h
Formations granitiques	44 St-Mars-du-Désert	Exploitant de carrière	Etude photogéologique - Forages de reconnaissance 1 forage d'essai	15 m ³ /h à 35 m	41 m ³ /h	Prévisions d'exhaure de la future carrières: 100 m ³ /h.
	35 Louvigné-du-Désert	Commune	Etude géologique et photogéologique - 1 forage d'essai	35 m ³ /h à 46 m	Pompage d'essai non encore réalisé	exploité pour l'instant à 12 m ³ /h.
	35 Princé	S.I.A.E.P.	Etude géologique et photogéologique - 1 forage d'essai	12 m ³ /h à 47 m	24 m ³ /h	exploité pour l'instant à 12 m ³ /h.
Formations schisteuses	22 St-Vran	S.I.A.E.P.	Etude géologique et photogéologique. Sondages légers (500 m). 1 forage d'essai	25 m ³ /h à 79,5m	32 m ³ /h	Un deuxième ouvrage pourrait être réalisé à 200 m du premier, ce qui porterait la possibilité de l'ensemble à : 53 m ³ /h (10 h par jour).
	35 Val d'Izé	Commune	Etude géologique et photogéologique - Forages de reconnaissance - 1 forage d'essai	50 m ³ /h à 37 m	57 à 75 m ³ /h selon les hypothèses de rabattement admissible	Un ouvrage plus profond devrait permettre d'obtenir des débits supérieurs à 100 m ³ /h.
	22 St-Hervé	Commune	Etude géologique et photogéologique. Sondages légers (500m). 1 forage d'essai	27 m ³ /h à 55 m	23 m ³ /h	