

Ministère de l'Economie,  
des Finances et de l'Industrie



Secrétariat  
d'Etat à l'Industrie

# Mesures et suivi d'exploitation des émergences d'eau minérale

*Note technique n° 12*

**Février 1998**

**DIVISION NATIONALE DES EAUX  
MINÉRALES ET THERMALES**

**BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

## **R É S U M É**

Les techniques de suivi des caractéristiques des eaux minérales ont énormément évolué, en parallèle avec les techniques de captage et les progrès de l'électronique.

Les approches mises en œuvre peuvent donc extrêmement variables suivant le niveau des exploitations, mais doivent dans tous les cas rester très pragmatiques, sans perdre de vue les objectifs d'un tel suivi.

Le choix des solutions retenues doit combiner des critères financiers avec les critères de faisabilité de la mise en œuvre, compte-tenu du type de captage considéré ; les contraintes de maintenance et de vérification périodique du bon fonctionnement des dispositifs ne doivent pas être omises.

Un choix adapté des systèmes de gestion et d'exploitation des données acquises permet la mise en place de dispositifs de suivi de la qualité de l'eau exploitée et d'alerte en cas d'incident.

## S O M M A I R E

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>OBJECTIFS DES MESURES .....</b>	<b>1</b>
<b>III.</b>	<b>ETAT DES LIEUX.....</b>	<b>2</b>
	III.1 Généralités .....	2
	III.2 Paramètres mesurés.....	2
	III.3 Gestion des données.....	3
<b>IV.</b>	<b>APPROCHE RECOMMANDABLE.....</b>	<b>3</b>
	IV.1 Paramètres conseillés .....	4
	IV.2 Paramètres déconseillés .....	5
	IV.3 Positionnement des équipements .....	5
<b>V.</b>	<b>GESTION DES DONNÉES .....</b>	<b>5</b>
	V.1 Relevé manuel.....	5
	V.2 Enregistrement papier.....	6
	V.3 Stockage informatique .....	6
	V.4 Dispositions communes .....	6
<b>VI.</b>	<b>EXPLOITATION DES DONNÉES DU SUIVI.....</b>	<b>6</b>
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>7</b>
	<b>ANNEXE 1 : 3 exemples de gestion de données.....</b>	<b>8</b>
	<b>ANNEXE 2 : Principes des mesures.....</b>	<b>9</b>
	1) <u>Capteur de conductivité à deux électrodes.....</u>	9
	2) <u>Capteur de conductivité à quatre électrodes .....</u>	9
	3) <u>Capteurs de conductivité à induction.....</u>	9
	4) <u>Débitmètres électromagnétiques.....</u>	10
	5) <u>Les débitmètres à ultrasons.....</u>	10

## I. INTRODUCTION

Les eaux minérales naturelles sont réputées être de qualité physico-chimique stable ; de plus elles doivent être livrées au point d'utilisation telles qu'elles se présentent à l'émergence.

La réalisation de contrôles de qualité à l'émergence a donc été, de tout temps, une préoccupation constante.

Le progrès aidant, les techniques de captage ont évolué ; des aménagements de surface, on est passé aux captages par puits et maintenant par forage ; les techniques de métrologie utilisées ont donc également évolué.

A l'heure actuelle, les progrès de l'électronique aidant, mesurer, dans le domaine des eaux minérales, n'est plus un problème technique mais un problème de choix d'objectifs et de coûts.

Le programme de mesure mis en œuvre sur un captage doit donc correspondre à un objectif clairement énoncé et être adapté au type de captage et au type d'eau concerné.

## II. OBJECTIFS DES MESURES

Comme toutes les ressources naturelles du sous-sol, les eaux minérales font l'objet d'études préalables à leur mise en exploitation ; ces études déterminent notamment :

- la qualité de l'eau qui sera exploitée,
- le type de captage qui sera mis en œuvre,
- les modalités et le régime d'exploitation envisagés pour le captage.

Ces éléments seront repris, après instruction des dossiers de demande correspondants, dans les arrêtés d'autorisation délivrés.

Ces derniers détermineront également en partie les contrôles qui seront effectués en cours d'exploitation.

Les programmes de mesure mis en place vont donc correspondre à plusieurs démarches :

- suivi de la qualité de l'eau,
- contrôle du respect des conditions d'exploitation autorisées pour la ressource,
- suivi des paramètres d'exploitation du captage et éventuellement de ses équipements.

### III. ETAT DES LIEUX

#### III.1 GENERALITES

Les situations rencontrées sur le terrain sont extrêmement diverses ; elles sont souvent fonction de la nature et de l'ancienneté du captage : il n'est pas exceptionnel de voir des émergences naturelles aménagées ("griffons") exploitées sans équipement de mesure à demeure et faisant l'objet d'un suivi ponctuel (conductivité, température, ...) parfois sommaire, dont les résultats sont transcrits dans un cahier.

A l'inverse, le développement des réhabilitations d'ouvrages de captage anciens et la création de nouveaux forages de production ont permis, depuis la fin des années 1980, la mise en place de capteurs modernes permettant de couvrir à la fois les besoins de suivi réglementaire de la qualité de la ressource et les besoins de gestion de l'exploitation des forages.

Dans les exploitations les plus évoluées, les équipements de mesure sont raccordés à des chaînes de traitement numérique avec télégestion.

Cependant, d'une façon encore assez générale, l'intérêt de disposer de mesures fiables et le bénéfice à retirer d'une exploitation rationnelle de ces mesures fiables, n'est pas encore systématiquement perçu ou admis.

En effet, les contraintes que cela représente sont réelles :

- . L'investissement, qui peut s'évaluer entre 100 et 150 KF pour un équipement complet standard auquel s'ajoutent les frais de gestion et d'interprétation des données ainsi que les frais de maintenance, représente systématiquement un obstacle.
- . Selon la nature du captage considéré, son équipement en matériel de mesure peut être plus ou moins compliqué à réaliser (par exemple, mesures de faibles débits sur une émergence naturelle).
- . Les compétences nécessaires à la sélection, à la mise en place et à la maintenance de ces équipements ne sont pas toujours présentes dans les exploitations d'eaux minérales ; la plupart de ces actions ainsi que la gestion informatique et le traitement des données doivent donc, soit être précédées d'un programme de formation du personnel technique, soit être sous traitées à des tiers ;
- . Un matériel standard peut être défini, mais il doit être adapté à de nombreux paramètres locaux (faciès d'eau, réseau hydraulique, équipements de mesures et de régulations existants). En particulier les points d'émergences sont généralement isolés de la zone d'exploitation, donc de tout environnement industriel. Aussi des spécifications complémentaires au matériel de mesure et d'acquisition, concernant les câblages d'alimentation, le transfert de données, la gestion de l'hygrométrie, de la température du local et du risque lié à la foudre ainsi que les classes d'armoires électriques, doivent être précisées.

#### III.2 PARAMETRES MESURES

Les paramètres les plus couramment mesurés correspondent à deux préoccupations distinctes :

- Suivi des paramètres caractéristiques de l'eau à l'émergence pour se conformer à l'arrêté ministériel d'autorisation d'exploiter : ce sont en général la température et la conductivité électrique de l'eau, la pression (en tant qu'expression de la hauteur d'eau) et le débit.
- Suivi des paramètres relatifs au gisement et au matériel d'exploitation qui relèvent plus de l'autocontrôle mis en place par les exploitations ; on retrouve :
  - . le débit ;
  - . la pression de refoulement, intégrant l'évolution des paramètres d'entrée (niveau/pression de ressource) et l'efficacité hydraulique des matériels (rendement des pompes, pertes de charge au refoulement) ;
  - . l'alimentation électrique, reflétant l'état des équipements électromécaniques.

Hormis les mesures piézométriques qui peuvent être réalisées en des points variables, l'ensemble de ces mesures est effectué au niveau de l'émergence.

La figure 1 montre un exemple de schéma d'instrumentation à l'émergence.

### III.3 GESTION DES DONNEES

Suivant le type de captage et d'équipement, la fréquence de mesure et les démarches, de formatage, de stockage et de traitement des données peuvent être extrêmement variables ; depuis la consigne manuelle de données journalières dans un cahier, jusqu'à la solution "tout informatique" des installations modernes les plus évoluées, et ce d'autant plus qu'aucune contrainte réglementaire n'est imposée dans ce domaine.

Les points suivants méritent d'être relevés :

- La maintenance (nettoyage, étalonnage périodiques) des capteurs en place, laisse souvent à désirer.
- Les données recueillies ne font pas l'objet d'un traitement et d'une valorisation systématique.
- La communication aux administrations des données acquises par l'exploitant n'est pas prévue de façon explicite dans les textes et ne se fait que rarement d'une façon régulière.

## IV. APPROCHE RECOMMANDABLE

Les contraintes financières et techniques de mise en place de matériel de mesure imposent une réflexion sur la complexité et la représentativité des paramètres à prendre en compte.

L'évolution du matériel de métrologie met à disposition une multitude de capteurs, ce qui peut entraîner la tentation de suréquiper les installations en mesurant le plus grand nombre de paramètres.

Cette tendance se traduit parfois par une redondance d'informations entre différentes mesures mettant surtout en évidence le manque d'étalonnage ou la dérive des capteurs.

Par ailleurs, l'éloignement et les conditions environnementales des captages ne permettent pas toujours la mise en œuvre de matériel sophistiqué ou nécessitant des réglages fréquents.

Il importe donc de rester très pragmatique dans ce domaine : ainsi, il y a lieu de séparer les mesures à l'émergence, fiables et représentatives, ayant pour objectif une alerte liée à une dérive, des mesures au niveau de l'exploitation qui peuvent être qualifiées d'autocontrôle, en routine ou sur anomalie ; ces dernières relevant du libre arbitre de l'exploitant, ne seront pas traitées dans cette note.

## IV.1 PARAMETRES CONSEILLES

### - La température :

Les capteurs sont fiables, économiques (coût # 1,5 KF) d'un entretien facile ; la stabilité de la température de l'eau est un bon reflet de l'absence de perturbation de l'eau minérale par des phénomènes extérieurs (infiltration, mélanges).

### - La conductivité électrique de l'eau :

Calée sur des analyses chimiques permettant de suivre de manière globale la qualité chimique de l'eau (minéralisation), c'est un paramètre commode à suivre. Par contre, les capteurs sont onéreux (# 12 KF), délicats et doivent faire l'objet d'un entretien et de réétalonnages périodiques (solution étalon de KCl de conductivité connue). Les capteurs peuvent être des capteurs classiques à deux électrodes ou, le cas échéant, à 4 électrodes (deux électrodes de mesure et deux électrodes de compensation de l'état de surface). Ce peuvent être également des capteurs à induction (voir principe de fonctionnement en annexe). Ils doivent également être positionnés selon les spécifications précises du constructeur sous peine de donner des indications aberrantes. Enfin, la plage de sensibilité du capteur doit être adaptée à la minéralisation de l'eau.

### - Les mesures de pression :

On peut suivant le cas, mesurer la pression de fond ou la pression de refoulement de la pompe immergée. Les câbles et les membranes des capteurs doivent être adaptés au caractère corrosif éventuel du milieu (coût d'un capteur # 6 KF).

**NB** : *Pour les eaux plates, la pression de fond peut être convertie directement en termes de hauteurs d'eau.*

*Par contre, pour les eaux gazeuses, il n'existe pas de relation directe entre pression de fond et hauteurs de la colonne d'eau (cf Note technique n° 10).*

*Pour ces eaux, le suivi de la pression de fond ne donne directement accès qu'à des informations approchées, équivalentes à des hauteurs d'eaux fictives mais permettant de suivre les risques éventuels de dénoyage de la pompe, ou de constater l'évolution éventuelle dans le temps des caractéristiques du gisement exploité.*

### - Le débit :

On doit préférer les débitmètres sans pièces mobiles, plus fiables dans le temps (électromagnétiques, le plus souvent, ultrasonique) ; coût moyen de l'ordre de 12 KF (voir principe de fonctionnement en annexe).

Ces quatre paramètres sont essentiels au suivi de la qualité. On peut éventuellement leur associer dans certains cas particuliers un paramètre chimique complémentaire caractéristique (chlorure par exemple) dont le choix sera fonction du type d'eau minérale et également du type de risque que l'on veut chercher à prévenir.

## IV.2 PARAMETRES DECONSEILLES

Les mesures de pH sont faciles à réaliser, mais ne sont pas directement exploitables. Il en est de même des mesures d'oxygène dissous, de CO<sub>2</sub> ou de sulfures.

*Note Technique DNEMT n° 12*

D'une façon générale, les mesures de concentration d'espèces dissoutes seront de préférence réalisées manuellement, de façon ponctuelle, afin de répondre à des questions précises ; leur suivi en continu présente, sauf cas particulier, peu d'intérêt.

### IV.3 POSITIONNEMENT DES EQUIPEMENTS

Sur les émergences naturelles aménagées, chaque cas est particulier et il faut surtout faire preuve de bon sens dans les aménagements nécessaires à la réalisation de mesures dans de bonnes conditions.

Par contre, des règles générales peuvent être avancées pour les forages.

Sur l'exemple de la fig. 1, on peut noter les points suivants :

- Les capteurs sont situés sur un tronçon de canalisation monté en by-pass, qu'il est possible d'isoler (vanne amont et aval) pour les interventions d'entretien, sans être contraint d'arrêter l'exploitation. Ils sont situés aussi près que possible de la tête de puits, sans toutefois gêner les interventions éventuelles.

Ils sont situés sur la génératrice inférieure de la canalisation, afin de ne pas donner lieu à des accumulations de poches de gaz que pourraient perturber les mesures.

**NB** : *On note en outre sur ce schéma :*

- *L'entrée d'air filtré (filtre microbien) permettant d'éviter l'introduction d'air non stérile dans l'annulaire du forage quand celui-ci respire (fluctuation du niveau dynamique en fonction du pompage).*
- *La présence d'un clapet anti-retour, **sécurité indispensable** pour éviter, en cas d'incident, la vidange du retour des canalisations dans le forage avec tous les risques de pollution que cela comporte pour le gisement.*
- *La présence du robinet de prélèvement pour prise d'échantillons de contrôle à l'émergence. Celui-ci doit obligatoirement être en acier inoxydable de façon à pouvoir être stérilisé à la flamme avant prélèvement.*
- *La conception des pentes et des angles des canalisations de façon à éviter les turbulences et les zones mortes.*

## V. GESTION DES DONNÉES

### V.1 RELEVÉ MANUEL

Le relevé manuel sur afficheur, souvent pratiqué, est dans une certaine mesure paradoxal, s'agissant de données acquises à partir d'équipements en place et fonctionnant en automatique. Il entraîne nécessairement des pertes d'information sur les variations rapides et des risques d'erreurs de transcription ou d'hétérogénéité liées aux rotations de personnel.

### V.2 ENREGISTREMENT PAPIER

L'enregistrement papier est interprétable sur une courte période, mais devient vite ingérable si l'on s'intéresse à une durée trop longue. Par ailleurs, il nécessite une saisie manuelle pour tout traitement plus approfondi (tendances à long terme, dérives, historiques, ...)



### V.3 STOCKAGE INFORMATIQUE

C'est, compte-tenu des possibilités offertes, la solution la plus satisfaisante, notamment dans le cas de mesures en continu en place.

De plus, l'investissement (de l'ordre de 7 KF) est comparable aux solutions précédentes et permet des gains de temps importants au niveau de la gestion des données. Il offre enfin des solutions de continuité informatiques pour le traitement et l'interprétation des données.

### V.4 DISPOSITIONS COMMUNES

Quelle que soit la solution choisie pour gérer les données du suivi, il convient de mettre l'accent, sur les points suivants :

- formation de personnel spécialisé ;
- mise au point de modes opératoires précis ;
- mise au point de procédures écrites claires de contrôle, de maintenance et de réétalonnage périodique des équipements ;
- nécessité de visites régulières du captage et de ses équipements, même si on a choisi l'option "tout automatique".

## VI. EXPLOITATION DES DONNÉES DU SUIVI

La réglementation existante ne prévoit rien d'explicite dans ce domaine.

Il est donc recommandé de faire preuve de bon sens, en sachant que l'objectif minimum à atteindre est que l'exploitant et l'administration disposent des informations nécessaires à la détection de toute altération significative de la qualité de l'eau exploitée.

L'exploitation de ces données doit pouvoir déboucher sur la mise en œuvre de procédures prédéfinies :

- en cas de faible dérive constatée sur un ou des capteurs, vérification de leur bon fonctionnement et, le cas échéant, diagnostic du caractère non instrumental de cette dérive.
- en cas d'évolution majeure d'un ou de plusieurs paramètres, modification des conditions d'exploitation ou arrêt.

La solution choisie pour le stockage des données prend alors tout son sens ; en effet, à ce stade, trois démarches de niveau différent peuvent être envisagées suivant le type et l'importance de l'exploitation.

- 1) Comparaison des informations fournies par le suivi avec des caractéristiques nominales ; une alerte est déclenchée en cas de dépassement de seuil.
- 2) Confrontation des valeurs mesurées avec les valeurs fournies par un modèle d'évolution (hydrodynamique essentiellement, gestion de la ressource souterraine).
- 3) A partir d'une base de données, alimentée automatiquement par les dispositifs de mesure, confrontation des valeurs avec des scénarios d'évolution ou des rapports de paramètres caractéristiques et interface avec toute l'information disponible sur le site : géologie, hydrogéologie, qualité d'eau, équipements hydrauliques, réseaux de distribution et d'assainissement, bref avec tout ce que l'on sait sur le gisement exploité et son environnement proche.

Ces systèmes d'information commencent à se mettre en place sur les sites les plus intensément exploités et permettent un suivi et un diagnostic plus efficaces et, par voie de conséquence, une meilleure gestion préventive des risques ainsi que des réponses plus adaptées en cas de dysfonctionnements constatés.

Quelle que soit la démarche choisie, une option supplémentaire intéressante consiste en la mise à disposition de ces informations sur un réseau (minitel ou réseau spécialisé) avec code d'accès confidentiel ; elle permet, tout en préservant la confidentialité des informations, de les mettre à disposition de destinataires choisis par l'exploitant.

On peut ainsi redéfinir de façon moderne la fonction de contrôle exercée par l'administration et la fonction d'assistance technique de bureaux spécialisés (consultation des données par le réseau, concertations téléphoniques et déplacements sur site mieux ciblés en connaissance de cause).

## **VII. CONCLUSION**

Le suivi d'exploitation des émergences d'eau minérale est un impératif qu'il convient de nuancer en tenant compte du type de captage concerné.

Le développement de l'exploitation par forage donne accès à toutes les solutions métrologiques apportées par les progrès de l'électronique.

Il convient donc de sélectionner soigneusement les critères les plus utiles à suivre en évitant la redondance d'informations, en sachant également que la mise en place de dispositifs de mesures doit nécessairement être complétée par une procédure de maintenance et de vérification de ces équipements ainsi qu'une réflexion portant sur l'utilisation la plus rationnelle des informations acquises.

## ANNEXE 1 : 3 exemples de gestion de données

**Exemple 1 - Fig. 2 :** Mesures analogiques et enregistrement de la pression de refoulement ①, pression de fond ② et pression de l'annulaire ③ d'un puits en exploitation. Cet extrait provient d'une série d'enregistrements sur plusieurs mois, lors de la mise en exploitation d'un forage. On constate un mauvais réglage de la sensibilité soit du capteur de pression de refoulement soit de la bande correspondante de l'enregistrement ; le tracé obtenu devrait avoir une allure analogue aux courbes 2 ou 3.

Il n'a pas été possible de retrouver les enregistrements sur lesquels sont portées les échelles de pression et de temps ; ceci illustre l'un des inconvénients inhérents à cette solution.

En revanche, l'information acquise permettrait le cas échéant une visualisation immédiate de l'évolution à court terme.

Les tendances à long terme sont par contre impossible à appréhender du fait des longueurs de papiers correspondantes.

**Exemple 2 - Fig. 3 :** Mesures de température, débit et conductivité transmises sous forme digitale via une centrale d'acquisition de données.

Ce système permet une gestion satisfaisante de l'information, au niveau de l'édition comme de l'interprétation.

On peut cependant constater que sur le schéma présenté, la gamme de conductivité sélectionnée ne permet pas une bonne visualisation des événements. En particulier sur la fin du graphique, on remarque une linéarité qui peut être attribuée soit à une panne de capteur, soit à une extrapolation à partir d'informations ponctuelles.

**Exemple 3 - Fig. 4 :** Solution plus sophistiquée : mesures digitales avec centrale d'acquisition et logiciel de gestion de données. Cet exemple permet de stocker les diverses mesures mais aussi l'ensemble des informations d'un site (ressource et exploitation). Sur des exploitations relativement complexes (nombreuses émergences, quantité de données historiques, réseau de distribution, environnement, ...), ce système d'information amène des possibilités de suivi et de diagnostic couvrant l'ensemble des données du site, c'est-à-dire replaçant les mesures dans un contexte global.

## **ANNEXE 2 : Principes des mesures**

### **1) CAPTEUR DE CONDUCTIVITE A DEUX ELECTRODES**

On applique une différence de potentiel entre deux électrodes immergées dans l'eau dont on cherche à mesurer la conductivité.

Celle-ci sera plus ou moins conductrice (ou résistante) en fonction de sa minéralisation. L'intensité du courant obtenue sera fonction de la différence du potentiel appliqué et de la salinité de l'eau ( $U = R.I$ ).

### **2) CAPTEUR DE CONDUCTIVITE A QUATRE ELECTRODES**

On fait appel à deux électrodes supplémentaires, qui permettent d'appliquer à la mesure une correction liée à l'état de surface des électrodes de mesure : c'est donc une solution particulièrement adaptée aux eaux ayant tendance à encrasser les électrodes.

### **3) CAPTEURS DE CONDUCTIVITE A INDUCTION**

Ces capteurs n'utilisent pas d'électrode ; la mesure est basée sur le couplage inductif de deux transformateurs annulaires (tores) par le fluide.

Le transmetteur fournit une tension de référence ( $V_1$ ) à haute fréquence à la bobine émettrice. Le support de cette bobine consiste en un matériau magnétique à haute perméabilité et un champ magnétique important est généré dans le tore. Le liquide traverse l'ouverture du tore et peut être considéré comme boucle secondaire.

Le champ magnétique induit une tension  $V_2$  dans la boucle secondaire. Le courant induit dans la boucle liquide est proportionnel à cette tension et la conductivité de la boucle liquide est donnée par la loi d'Ohm.

La conductivité ( $C=1/\Delta$ ) est proportionnelle à la conductivité spécifique et à un facteur constant qui est déterminé par la géométrie du capteur (longueur divisée par la surface de l'orifice du tore) et par l'installation du capteur.

Deux tores sont montés dans le capteur en forme d'anneau. Le liquide traverse aussi le second tore et c'est pourquoi la boucle liquide peut être considérée comme un bobinage primaire du second transformateur torique.

Le courant présent dans le liquide crée un champ magnétique dans le second tore. La tension induite ( $V_3$ ), résultant de ce champ magnétique peut être mesurée en sortie. En effet, la tension de sortie de cette bobine réceptrice est proportionnelle à la conductivité spécifique du liquide de procédé.

#### 4) DEBITMETRES ELECTROMAGNETIQUES

L'eau qui s'écoule dans un tube isolant, est soumise à un champ magnétique d'intensité constante connue, perpendiculaire à l'axe d'écoulement. Elle se comporte comme un conducteur électrique se déplaçant dans un champ magnétique. Une force électromotrice prend naissance dans l'eau et il apparaît, entre deux électrodes disposées perpendiculairement au champ magnétique et baignant dans l'eau, une différence de potentiel U qui s'exprime par la formule :  $U = k.D.V.H.$  dans laquelle D, V et H sont respectivement le diamètre intérieur du tube isolant, la vitesse de l'eau et la valeur du champ magnétique et k est une constante.

L'avantage de ce débitmètre est aussi de ne créer aucune perte de charge ; la différence de potentiel recueillie aux bornes des électrodes étant proportionnelle à la vitesse du fluide, l'indication du débit est linéaire et ne nécessite pas d'appareillage complémentaire.

#### 5) LES DEBITMETRES A ULTRASONS

Les débitmètres à ultrasons dits "à temps de transit", sont basés sur le principe suivant : si deux sondes (émettrice et réceptrice) à ultrasons sont placées au sein d'un liquide en mouvement de telle façon que chacune d'elles reçoive les signaux émis par la sonde opposée, on observe une différence de temps de propagation suivant que l'onde acoustique se propage d'amont en aval ou d'aval en amont (composition des vitesses).

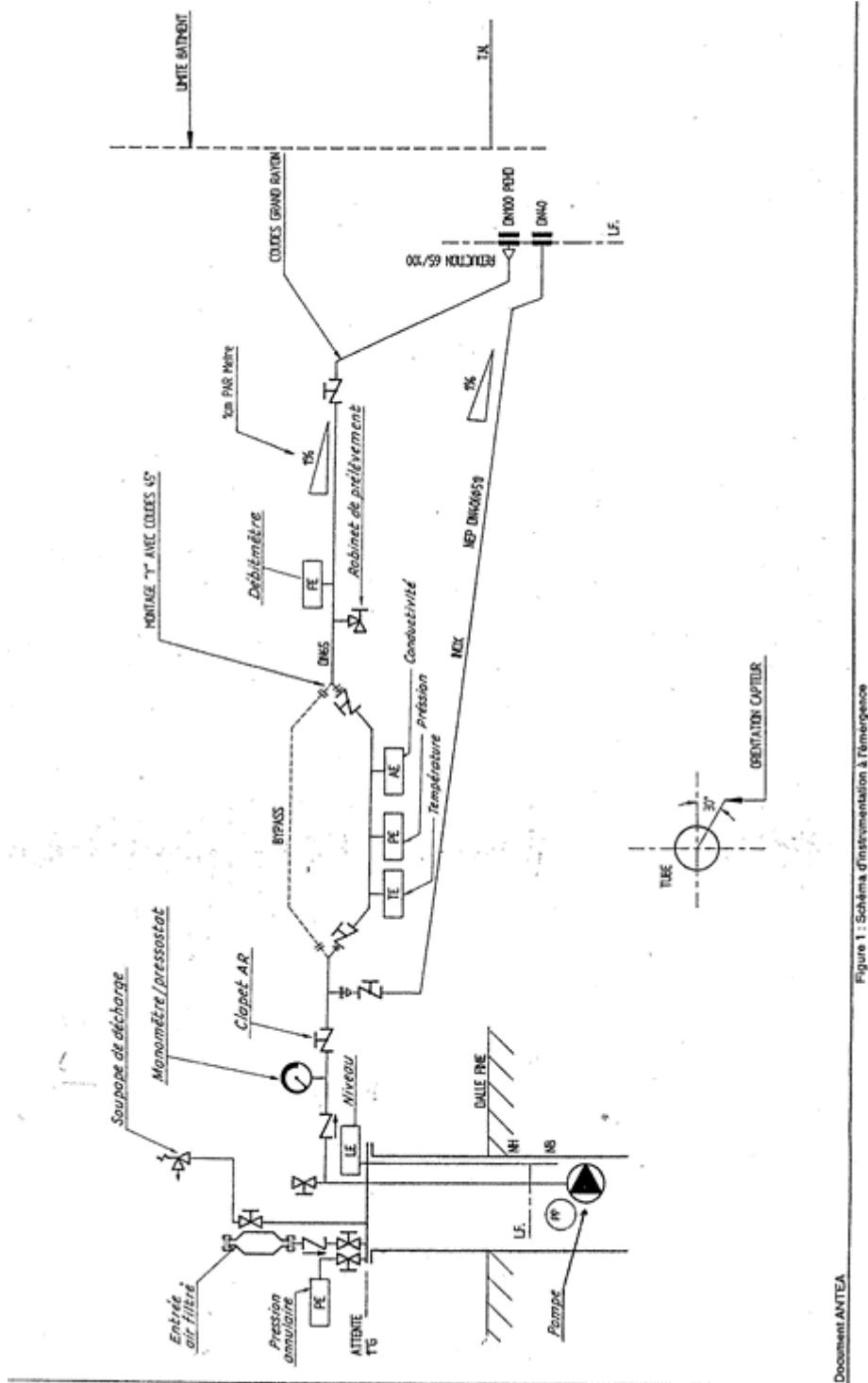
En appelant :

v la vitesse d'écoulement,  
d la distance entre sondes,  
c la célérité du son dans le milieu,  
 $\theta$  l'angle entre le vecteur vitesse et la direction des sondes,

la différence de temps de parcours s'écrit :

$$\Delta T = \frac{2 \, v d \, \cos \theta}{c^2}$$

Cette relation permet de déduire la vitesse du fluide, qui, rapportée à la section, donne accès au débit.



Document ANTEA

Figure 1 : Schéma d'instrumentation à l'émergence

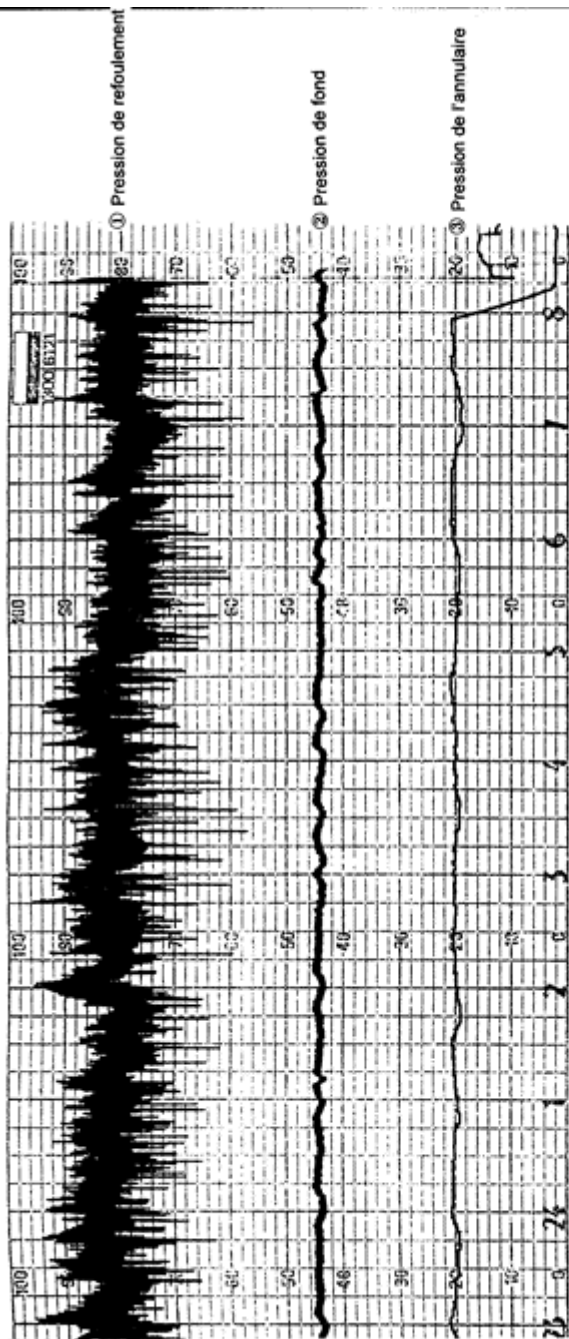
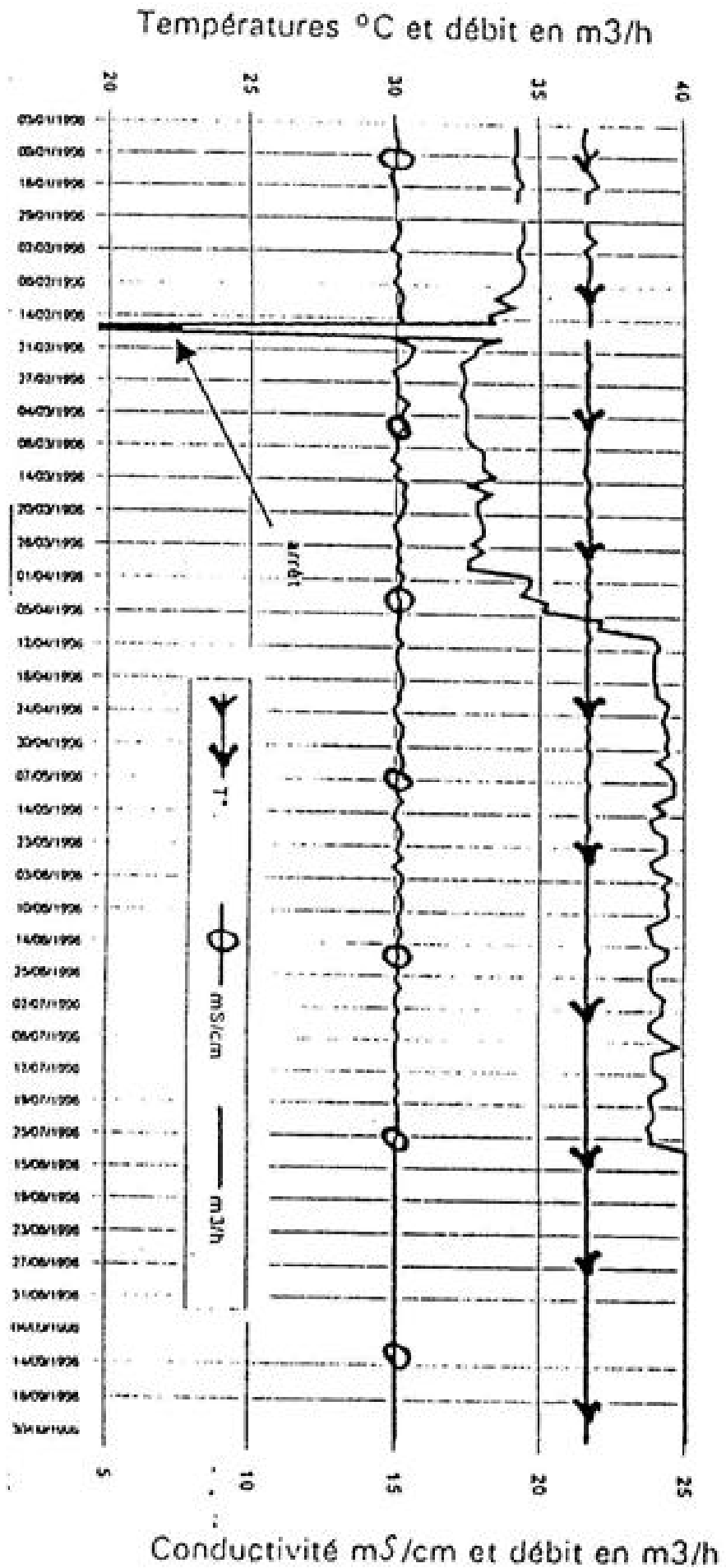
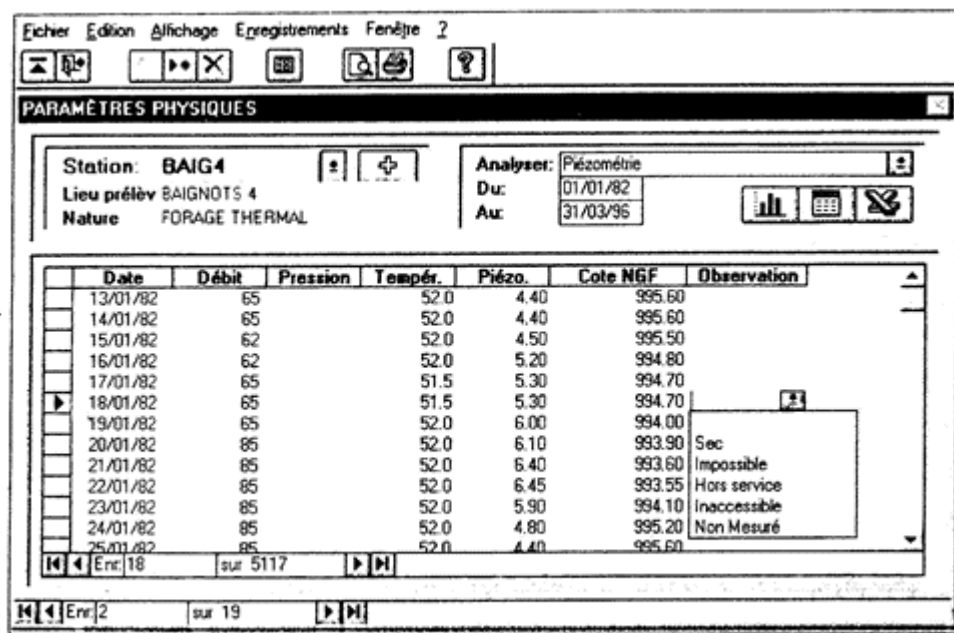


Figure 2 - Exemple de mesures analogiques avec enregistrement papier

Figure 3 - Exemple de mesures digitales avec centrale d'acquisition

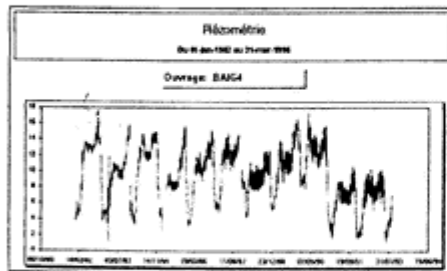






Exemple d'écran de gestion des données chronologiques

- La partie interne de l'écran est un tableau contenant l'ensemble des mesures réalisées sur un ouvrage ; celles-ci sont triées par dates croissantes ou décroissantes.
- La partie externe permet de choisir l'ouvrage à afficher dans le tableau, et d'analyser les paramètres mesurés : tracés graphiques, statistiques élémentaires et exportation vers EXCEL™.



Affichage d'un graphe de contrôle

STATISTIQUES ELEMENTAIRES SUR LES DONNEES					
Ouvrage BAIG4		Entre le 01-jan-82 et le 31-mar-96			
Paramètre	Compte	Mini	Maxi	Moyenne	Ec.type
Débit	3070	0.00	35136.00	211.42	2188.17
Piezométrie	5106	0.90	17.70	9.21	3.52
Cote NGF	5106	982.30	999.10	990.79	3.52
Pression	1437	1.60	8.60	4.85	0.76
Température	4422	0.00	56.90	53.41	2.06

Affichage de statistiques élémentaires

Figure 4 : Exemple de mesures digitales avec centrale d'acquisition et logiciel de gestion de données (système BADGE)