

5948/4

**COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES  
(C.I.E.H)**

BP 369 · OUAGADOUGOU · BURKINA FASO

2 3 2 . 2

8 8 E S

\*

**ESSAIS DE DÉBIT SIMPLIFIÉS  
SUR FORAGES  
D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE**

**NOTE EXPLICATIVE**



ETUDE FINANÇÉE PAR  
LE FONDS D'AIDE ET DE COOPÉRATION  
DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



**BURGEAP**

ETUDE ET MISE EN VALEUR DES EAUX SOUTERRAINES

2322-88ES-5948

**COMITÉ INTERAFRICAIN D'ÉTUDES HYDRAULIQUES**  
( C.I.E.H )

BP 369 - OUAGADOUGOU - BURKINA FASO

\*

**ESSAIS DE DÉBIT SIMPLIFIÉS**  
**SUR FORAGES**  
**D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE**

**NOTE EXPLICATIVE**



LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE  
CENTRE FOR COMUNITY WATER SUP  
PLY ASSOCIATION (IRC)  
P.O. Box 33190, 2509 AD The Hague  
Tel. (070) 814911 ext. 141/142

RN 5948  
LO: 232.2 88ES

ETUDE FINANCÉE PAR  
LE FONDS D'AIDE ET DE COOPERATION  
DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



**BURGÉAP**

ETUDE ET MISE EN VALEUR DES EAUX SOUTERRAINES

C.I.E.H.  
ESSAIS DE DEBIT SIMPLIFIES  
SUR FORAGES D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

—ooOoo—

NOTE EXPLICATIVE

BURGEAP  
R.785/E.1708  
MARS 1988

Cette étude a été financée par  
le Fonds d'Aide et de Coopération de la République Française

## SOMMAIRE

	Pages
<u>AVANT PROPOS - OBJET DE L'ETUDE</u>	05
<u>PREMIERE PARTIE - FONDEMENTS THEORIQUES ET VERIFICATION EXPERIMENTALE DE LA METHODE</u>	09
1. FONDEMENTS THEORIQUES	09
1.1. Principe de superposition	09
1.2. Rappel de la loi de THEIS	10
1.3. Approximation de JACOB	10
1.4. Extension au milieu fissuré	11
1.5. Précautions générales d'application	13
1.6. Théorie des pompages cycliques	15
1.6.1. Formulation analytique	
1.6.2. Le modèle PCYCL1	
2. VERIFICATIONS EXPERIMENTALES DE LA METHODE	17
2.1. Analyse de 276 forages du "projet coton"	17
2.2. Analyse du Projet Yatenga	26
2.3. Comparaison essais brefs et essais longs	26
2.4. Contrôle de validité de la méthode	30
2.4.1. Choix des forages, calculs préliminaires	
2.4.2. Application du modèle PCYCL1	
2.4.3. Contrôle sur le terrain	
2.4.4. Résultats, validité des reconstitutions	
2.5. Fluctuations des nappes	37
2.5.1. Baisse interannuelle liée à la sécheresse	
2.5.2. Fluctuations saisonnières	

<u>DEUXIEME PARTIE - EXPLICATIONS DETAILLEES SUR LA NOTICE</u>	43
CHAMP D'APPLICATION ET LIMITES DE LA METHODE	
1. PRINCIPES DE L'ESSAI	44
2. PRINCIPES DE L'INTERPRETATION	44
2.1. Utilisation des rabattements spécifiques	44
2.2. Détermination du niveau à ne pas dénoyer	45
2.3. Le rabattement spécifique à 8 mois	45
2.4. Le niveau dynamique à 8 mois	46
2.5. L'utilisation des paliers de débit	46
3. CONDUITE DE L'ESSAI	47
3.1. Avant l'essai	47
3.2. Pendant l'essai	48
4. CONDUITE DE L'INTERPRETATION	49
4.1. Travaux préliminaires	49
4.2. Construction de la courbe d'essai-exploitation	49
4.3. Rabattement maximum admissible	50
4.4. Etablissement de la "caractéristique"	50
4.5. Positionnement de la pompe	52
4.6. Jonction d'un contre-puits	53
5. ESTIMATION DE LA BAISSSE SAISONNIERE	54
6. REMARQUES ADDITIONNELLES	54
6.4. Interprétation de la remontée	54

LISTE DES TABLEAUX

1. COMPARAISON DES ESSAIS COURTS ET DES ESSAIS LONGS
- 1b. COMPARAISON ESSAIS COURTS/ESSAIS LONGS (ESSAIS NON PRECEDES DE PALIERS)
2. VALIDITE DES RECONSTITUTIONS EFFECTUEES
3. BAISSSE NATURELLE DES NIVEAUX DE NAPPE
4. FLUCTUATIONS SAISONNIERES PROBABLES

LISTE DES FIGURES

1. POMPAGES CYCLIQUES, EXEMPLE DE SORTIE DU MODELE PCYCLI
2. FORMES TYPES D'ESSAIS BREFS (INTERPRETATION JACOB)
3. SITUATION DES LIEUX ET DES PROJETS CITES
4. FLUCTUATIONS SAISONNIERES  $\Delta NS$ , ET INTERANNUELLES  $\Delta IA$ , CONNUES SUR PLUSIEURS ANNEES
5. FLUCTUATIONS PIEZOMETRIQUES AU BURKINA FASO
6. FLUCTUATIONS SAISONNIERES (REMONTEES) OBSERVEES EN FONCTION DE LA PROFONDEUR MOYENNE DU NIVEAU STATIQUE

LISTE DES ANNEXES

1. CALCUL ANALYTIQUE DES POINTS HAUTS ET DES POINTS BAS LORS DE POMPAGES CYCLIQUES (FIGURE 7) PROGRAMME PCYCLI
2. EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODE EXPERIMENTALE UTILISEE : LE FORAGE DE BONSONNORE 3
3. LE MODELE BICOUCHE REALISE
4. NOTICE PEDAGOGIQUE (PLAQUETTE)



### AVANT PROPOS, OBJET DE L'ETUDE

A l'achèvement d'un forage d'hydraulique villageoise, il est indispensable de l'équiper d'une pompe qui soit adaptée à sa capacité, et de la disposer à une profondeur telle qu'elle ne dénoie pas en fin de saison sèche, sous les effets combinés du rabattement dû au pompage (que les essais de débit ont pour but de déterminer), et des baisses naturelles de la nappe, saisonnières et interannuelles, que l'on tente d'apprécier par ailleurs.

Il est essentiel en outre, pour minimiser le coût de la pompe, et l'effort de pompage à fournir (notamment avec les pompes à tringlerie), que la pompe ne soit pas placée à une profondeur inutilement exagérée.

Les modalités des essais de débit tels qu'ils sont pratiqués sur les forages d'hydraulique villageoise, réalisés par milliers depuis plus de 15 ans dans la plupart des pays d'Afrique, sont extrêmement variées.

Dans un même pays, au sein d'une même région souvent, sont utilisés tous les types d'essais imaginables, suivant les maîtres d'oeuvre, voire même selon les entreprises de forages : du simple soufflage à l'émulseur pendant 1 heure (ou moins), tenant lieu "d'essai de réception", jusqu'au coûteux pompage de longue durée, en passant par des paliers de débit, enchainés ou non, différents en nombre comme en durée, aucune campagne n'est comparable aux autres.

Devant cette situation, et poursuivant sa politique générale visant à améliorer les procédures et si possible à les homogénéiser, le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (C.I.E.H.) souhaite apporter aux Directions de l'Hydraulique des Etats Membres une méthode d'essais brefs, pratique, simple et généralisable, qui réponde de manière à la fois économique et techniquement satisfaisante aux trois principales questions que pose, dans tous les pays, l'équipement des forages villageois :

1. Tel forage peut-il fournir toute l'année le débit de la pompe que l'on souhaite y installer, généralement faible (0,7 m<sup>3</sup>/h), au rythme de 12 heures par jour?
2. A quelle profondeur faut-il la mettre en place pour être assuré - avec une probabilité statistique satisfaisante - qu'elle ne dénoiera pas en fin de saison sèche ?
3. Enfin, pour les forages de meilleur débit, sur lesquels on peut envisager une exploitation plus importante, quel est l'ordre de grandeur du débit maximum admissible ?



Le C.I.E.H. a confié à BURGEAP le soin de mettre au point cette méthode normalisée d'essais de pompage sur les forages destinés à l'hydraulique villageoise. Cette méthode devrait être utilisable notamment dans les aquifères discontinus (zones de socle cristallin ou ancien fissuré), largement répandus en Afrique Sahélo-soudanaise.

La notice pédagogique intitulée :

ESSAIS DE DEBIT SIMPLIFIES  
SUR FORAGES  
D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

a été établie pour répondre aux principes suivants :

1. Destinée à être très largement diffusée, elle doit être simple et directement utilisable par un personnel non spécialement formé aux techniques hydrogéologiques.
2. Elle doit permettre, à partir d'un essai bref, réalisable dans la journée, y compris le déplacement de site à site, de déterminer aisément les conditions d'exploitation des forages, et notamment, en fonction du rythme d'exploitation envisagé (débit, durée), d'évaluer le niveau dynamique de l'eau dans le forage en fin de saison sèche, afin de fixer :
  - a) La profondeur d'installation de la (ou des) pompe(s) à motricité humaine pouvant équiper utilement le forage afin de couvrir les besoins (à raison d'un temps de pompage qui peut varier habituellement de 6 à 12 heures par jour).
  - b) La profondeur de la jonction à réaliser, dans le cas où la nappe de fissures étant suffisamment ascendante, le creusement d'un contre-puits est possible et constitue un mode d'exploitation souhaitable.
3. La méthode proposée doit, enfin, permettre de fournir une première évaluation de débit maximum d'exploitation de l'ouvrage, afin de présélectionner les ouvrages dont le fort débit pourrait, si le besoin s'en fait sentir, justifier la pose de pompes motorisées plus coûteuses (solaires, mécaniques ou électropompes).

Les résultats fournis par ces essais simplifiés devront toujours, dans ce dernier cas, être vérifiés par un essai de longue durée, mais cette notion de débit maximum d'exploitation est un élément caractéristique fondamental pour la connaissance générale des ressources en eau.

Le présent rapport, qui constitue la note explicative de la notice pédagogique citée ci-dessus comporte :

\* En première partie :

- un exposé des attendus théoriques de la méthode simplifiée proposée, fondée sur la méthode de JACOB,
- une analyse de centaines d'essais d'archives qui prouve la validité statistique de la méthode présentée,
- un exposé des moyens utilisés, sur la base des mesures de terrain réalisées par le C.I.E.H. et à l'aide de modèles de simulation, pour en démontrer expérimentalement la validité pratique (1).

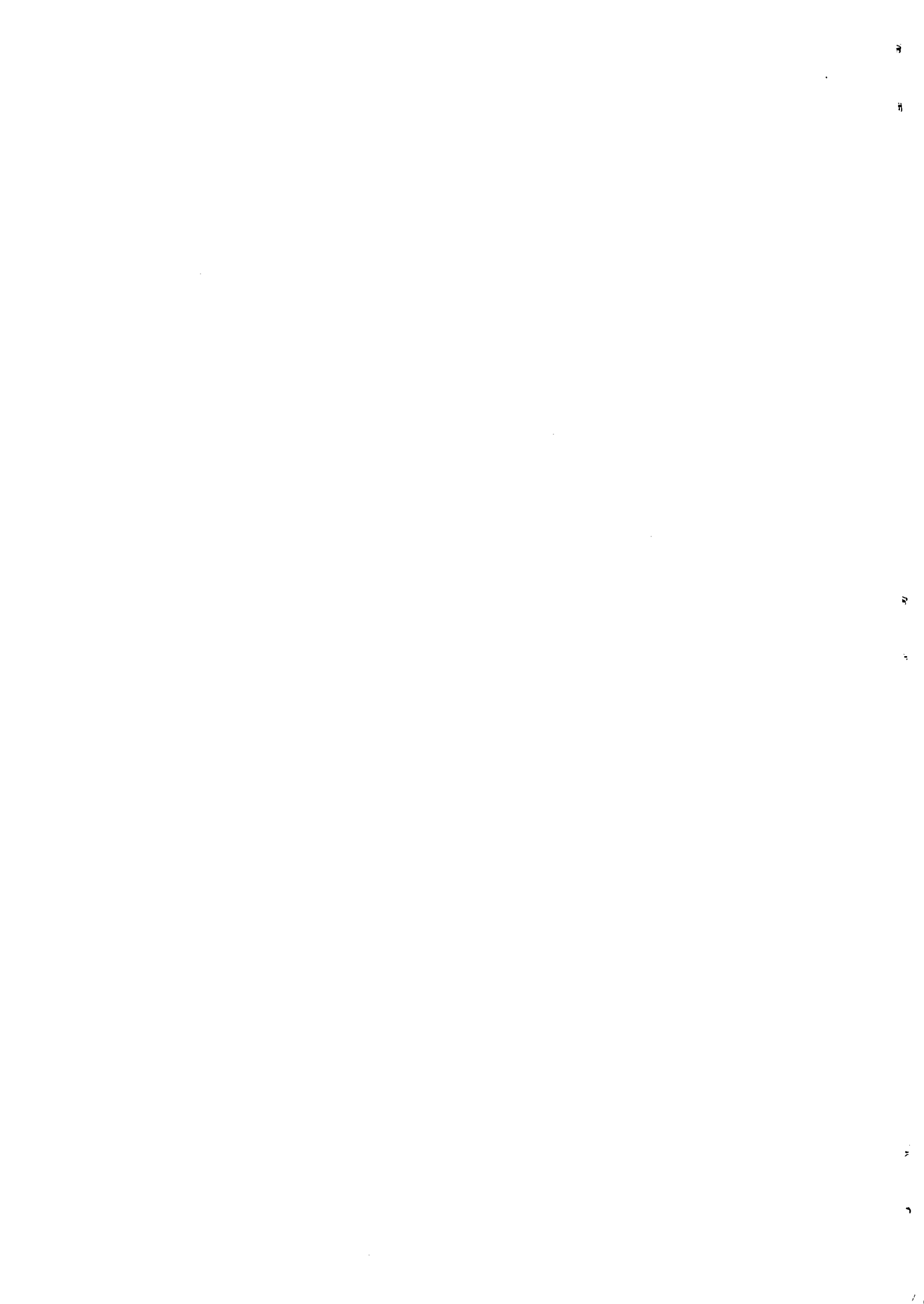
\* En seconde partie :

Des explications détaillées, visant à apporter aux utilisateurs de cette plaquette désireux d'aller plus avant dans la compréhension des phénomènes en jeu, des additifs et considérants qui, du fait de leur plus grande complexité, ou de leur longueur, ne pouvaient trouver leur place dans la notice pédagogique volontairement simplifiée.

Afin de faciliter la lecture et la compréhension, la numérotation des chapitres de cette seconde partie du rapport suivra exactement celle de la notice pédagogique.

---

(1) Les mesures sur le terrain ont été effectuées par Bassirou DIAGANA, hydrogéologue du CIEH.



## PREMIERE PARTIE

### FONDEMENTS THEORIQUES ET VERIFICATION EXPERIMENTALE DE LA METHODE DES ESSAIS BREFS PAR PALIERS ENCHAINES

#### 1. FONDEMENTS THEORIQUES

##### 1.1. Principe de superposition

Le premier fondement théorique à rappeler est que la loi de DARCY, qui régit très généralement les écoulements souterrains, est linéaire.

"Il en découle une des propriétés essentielles des écoulements en milieu poreux : ils sont superposables, c'est-à-dire en particulier que l'évolution de la nappe, autour d'un point où l'on a provoqué une perturbation, est la superposition de l'état antérieur supposé continuer d'évoluer normalement et d'un écoulement transitoire de définition souvent plus simple que celui de la nappe entière. Ce principe est la cheville sur laquelle s'articulent implicitement ou explicitement tous les raisonnements d'hydraulique souterraine ; sans lui les calculs seraient absolument inextricables ..." (1).

Cela signifie, en particulier, que l'évolution du niveau de l'eau, dans un forage exploité de manière cyclique, peut être étudiée analytiquement comme la superposition de  $n$  cycles de pompage alternés avec  $n$  cycles de remontée.

Cela signifie, en outre, qu'il sera toujours possible, après avoir étudié (et quelle que soit la méthode d'analyse), l'évolution du rabattement lié à tel pompage en nappe supposée stable, d'obtenir ensuite l'évolution réelle du niveau de l'eau par simple superposition algébrique de l'historique, connu ou supposé, des fluctuations saisonnières ou interannuelles.

---

(1) E. de GELIS, Eléments d'Hydraulique Souterraine, Notes et mémoires N°136, Centre des Etudes Hydrogéologiques RABAT, 1956.

### 1.2. Rappel de la loi de THEIS

Dans un aquifère captif non réalimenté (régime "transitoire pur"), en milieu poreux, continu, homogène, isotrope, d'extension infinie, de transmissivité  $T$  (m<sup>2</sup>/s), et de coefficient d'emmagasinement  $S$  (sans dimension), le rabattement  $s$  (m), au bout d'un temps  $t$  (s), à une distance  $r$  (m), d'un forage parfait exploité à un débit  $Q$  (m<sup>3</sup>/s), est donné par la relation de THEIS :

$$s = (Q/4 \cdot \pi \cdot T) \cdot W(u) \quad [ 1 ]$$

formule dans laquelle  $u = r^2 S/4Tt$  [ 2 ]

et  $W(u) = e^{-u} \int_0^u \frac{1}{u} du$  [ 3 ]

Cette fonction complexe,  $W(u)$  appelée "exponentielle intégrale", est tabulée, et abaquée.

### 1.3. Approximation de JACOB

Lorsque  $u$  est assez grand, et dépasse la valeur de 0,1, c'est à dire lorsque le temps  $t$  écoulé depuis le début du pompage est grand, et dépasse la valeur :

$$u > 10 \cdot r^2 \cdot S / 4 \cdot T, \quad (\text{condition de JACOB}) \quad [ 4 ]$$

l'exponentielle intégrale  $W(u)$  peut être remplacée, avec une approximation inférieure à 5%, par le premier terme de son développement limité qui s'écrit :

$$s = (Q / 4 \cdot \pi \cdot T) \cdot \text{LN} (2,25 \cdot T \cdot t / r^2 \cdot S) \quad [ 5 ]$$

Nota : LN = Log Népérien = 2,3 log décimal

ou encore, "formule de JACOB" :

$$s = 0,183 (Q/T) \cdot \log (2,25 \cdot T \cdot t / r^2 \cdot S) \quad [ 6 ]$$

que l'on peut écrire :

$$s = A \cdot \log B t \quad [ 6a ]$$

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES

(C.I.E.H.)

B.P. 369

OUAGADOUGOU - BURKINA FASO

---

ESSAIS DE DEBIT SIMPLIFIES

SUR

FORAGES

D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

---

NOTICE EXPLICATIVE

ERRATUM P. 10

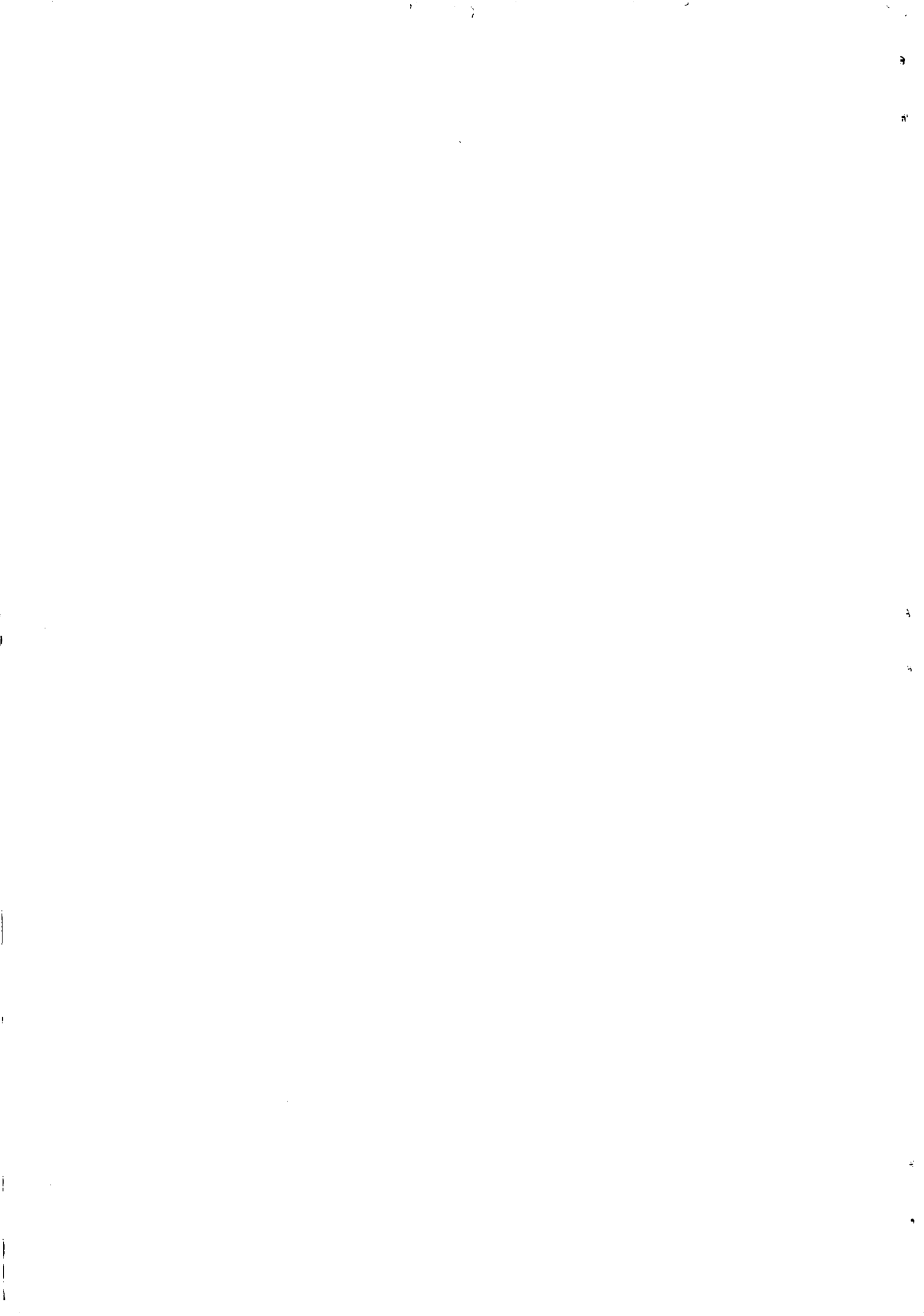
### 1.3 Approximation de Jacob

Lire :

Lorsque  $u$  est suffisamment petit, et inférieur à la valeur 0,1, *c'est à dire lorsque le temps  $t$  écoulé depuis le début du pompage est grand, et dépasse la valeur :*

$$t > 10.r^2.S / 4.T \text{ (condition de JACOB)} \quad [4]$$

*l'exponentielle intégrale  $W(u)$  peut être remplacée, avec une approximation inférieure à 5 %, .....*



Cette formule exprime que le rabattement  $s$  évolue linéairement avec le logarithme du temps : les rabattements observés, reportés graphiquement en fonction du temps sur un papier semi logarithmique s'alignent donc, ce qui fait à la fois l'intérêt et le succès pratique de cette méthode.

La pente "d" de la droite de JACOB sur le graphe  $s = f(\log t)$  permet alors de calculer la transmissivité  $T$  de l'aquifère selon la formule

$$T = 0,183 \frac{Q}{d}$$

[ 7 ]

La condition de JACOB, qui fait intervenir le carré de la distance  $r$  d'observation, est vérifiée très rapidement, en quelques secondes ou quelques minutes, dans le cas - qui nous occupe - où l'on suit les rabattements sur le forage lui-même, et où l'on adopte pour  $r$  le rayon du trou de forage.

L'application de l'approximation de JACOB est donc particulièrement adaptée aux forages villageois pour lesquels on ne dispose généralement pas de piézomètres de mesure.

#### 1.4. Extension de la théorie de THEIS-JACOB aux milieux fissurés sous un recouvrement aquifère à porosité d'interstices

- 1.4.1. En hydraulique souterraine, il est fréquent de distinguer les milieux fissurés des milieux poreux : le caractère discontinu des premiers (qui contredit en principe les conditions théoriques d'application de la formule de THEIS-JACOB) s'opposant au caractère supposé continu des seconds.

Certes, une telle distinction théorique est bien réelle à l'échelle millimétrique ou centimétrique du pore ou de la fissure observée individuellement.

Mais on constate dans la pratique, qu'à l'échelle métrique ou décamétrique, qui est celle d'un forage et de l'ensemble de la zone d'influence du pompage, un milieu fissuré peut - et cela de manière extrêmement générale - réagir hydrauliquement comme un aquifère à perméabilité d'interstices : cela se traduit simplement par le fait que l'évolution des rabattements observés suit correctement la loi théorique ci-dessus exposée.

- 1.4.2. Notre expérience, portant sur plusieurs milliers de forages en milieu fissuré, qu'il soit cristallin, schisteux ou gréseux tabulaire ancien, montre que, dans plus de 80% des cas (cf ci-après en § 2.2 et 2.4), l'approximation logarithmique de JACOB rend compte, avec une précision suffisante, de l'évolution à long terme des rabattements sur des forages villageois exploités à faible débit, pour peu que l'on prenne certaines précautions au stade de l'interprétation.



Ce phénomène s'observe de manière constante dans les aquifères cristallins des régions tropicales, principalement lorsqu'un manteau d'altérites noyées, peu perméables mais fort poreuses, maintient captif l'aquifère fissuré plus profond, situé dans la roche saine diaclasée ou fracturée.

Cela s'observe également dans les formations de grès durs, tabulaires et fracturés très anciens, sous un recouvrement sablo argileux aquifère plus ou moins épais.

- 1.4.3. Dans la pratique, on observe donc que la loi de THEIS (et son approximation de JACOB) bien qu'établies pour un aquifère idéal, captif, continu, homogène, isotrope et infini, permet dans une très grande majorité des cas ( $> 80\%$ ) de restituer de manière satisfaisante l'évolution des rabattements dans des aquifères de fissures.

Ces roches fissurées aquifères, qui semblent a priori ne satisfaire aucune des hypothèses de continuité, d'homogénéité ou d'isotropie, répondent assez correctement aux lois de THEIS pour peu qu'elles soient recouvertes et maintenues en charge par un manteau d'altérites ou de dépôts sablo-argileux noyés (1).

Certes, les paramètres hydrauliques (transmissivité, coefficient d'emmagasinement) auxquels conduit l'application de la théorie de THEIS et JACOB à ces milieux particuliers, ne doivent être considérés que comme des paramètres "équivalents" qui rendent compte correctement de l'évolution des rabattements, mais sans que leur signification réelle soit directement comparable aux paramètres correspondants dans les milieux à porosité d'interstices.

- 1.4.4. Il faut remarquer cependant, et c'est probablement l'une des raisons pour lesquelles on constate très fréquemment que la méthode de JACOB s'applique, que :

- a) La transmissivité du milieu fissuré aquifère, essentiellement dépendante des fissures du socle, reste constante si les fissures ne sont pas dénoyées au cours du pompage, la perméabilité du recouvrement noyé d'altérites (ou sablo-argileux) superposé étant faible.
- b) Le coefficient d'emmagasinement du milieu aquifère fissuré principal est faible, mais il reste constant également, tant que l'on ne dénoie pas complètement le recouvrement peu perméable qui le maintient captif (1).
- c) Lorsque l'aquifère fissuré principal captif est surmonté par un aquifère secondaire libre semi-perméable de forte porosité,

---

(1) En zone de socle fissuré (l'aquifère principal), les coefficients d'emmagasinement mesurés sont toujours de l'ordre de  $10^{-3}$  à  $10^{-7}$ , alors que dans les altérites superposées (aquifère secondaire libre peu perméable), la porosité utile est très généralement supérieure à  $10^{-2}$ .

(cas fréquent en zone de socle : altérites noyées), l'évolution du rabattement reste toujours commandée par la transmissivité  $T$  de l'aquifère principal, que l'on peut encore calculer par la formule [ 7 ] (page 11) ; mais l'importance des rabattements est réduite par drainance de l'aquifère superposé, de coefficient  $S$  beaucoup plus élevé (cf. Annexe 3. Modèle Bicouche).

- 1.4.5. Il paraît donc évident que l'on n'a pas le droit de négliger l'apport pratique important de la méthode très simple de JACOB et des paramètres "équivalents" qu'elle peut déterminer, lorsque l'on constate expérimentalement que cette méthode permet de reconstituer de manière satisfaisante l'évolution hydraulique d'un système aquifère fissuré.

Il est clair par contre que l'on doit faire appel à des méthodes d'interprétation spécifiques des milieux fissurés dans les cas - relativement rares nous le verrons - pour lesquels on constate que la théorie de THEIS-JACOB ne s'applique pas.

#### 1.5. Précautions générales d'applications

- a) L'aquifère fissuré doit être captif, il doit également rester captif tout au long de son exploitation, c'est à dire que les altérites ne doivent jamais être totalement dénoyées. Cette remarque doit conduire l'hydrogéologue qui fait l'interprétation à fixer avec grand soin le niveau dynamique à ne pas dépasser, afin d'être assuré que les fissures aquifères ne seront jamais dénoyées en cours d'exploitation.
- b) Les pertes de charge non linéaires, fréquentes dans les forages, notamment en milieu fissuré, s'ajoutent au rabattement calculé selon la formule théorique [ 5 ], et le rabattement réel mesuré est :

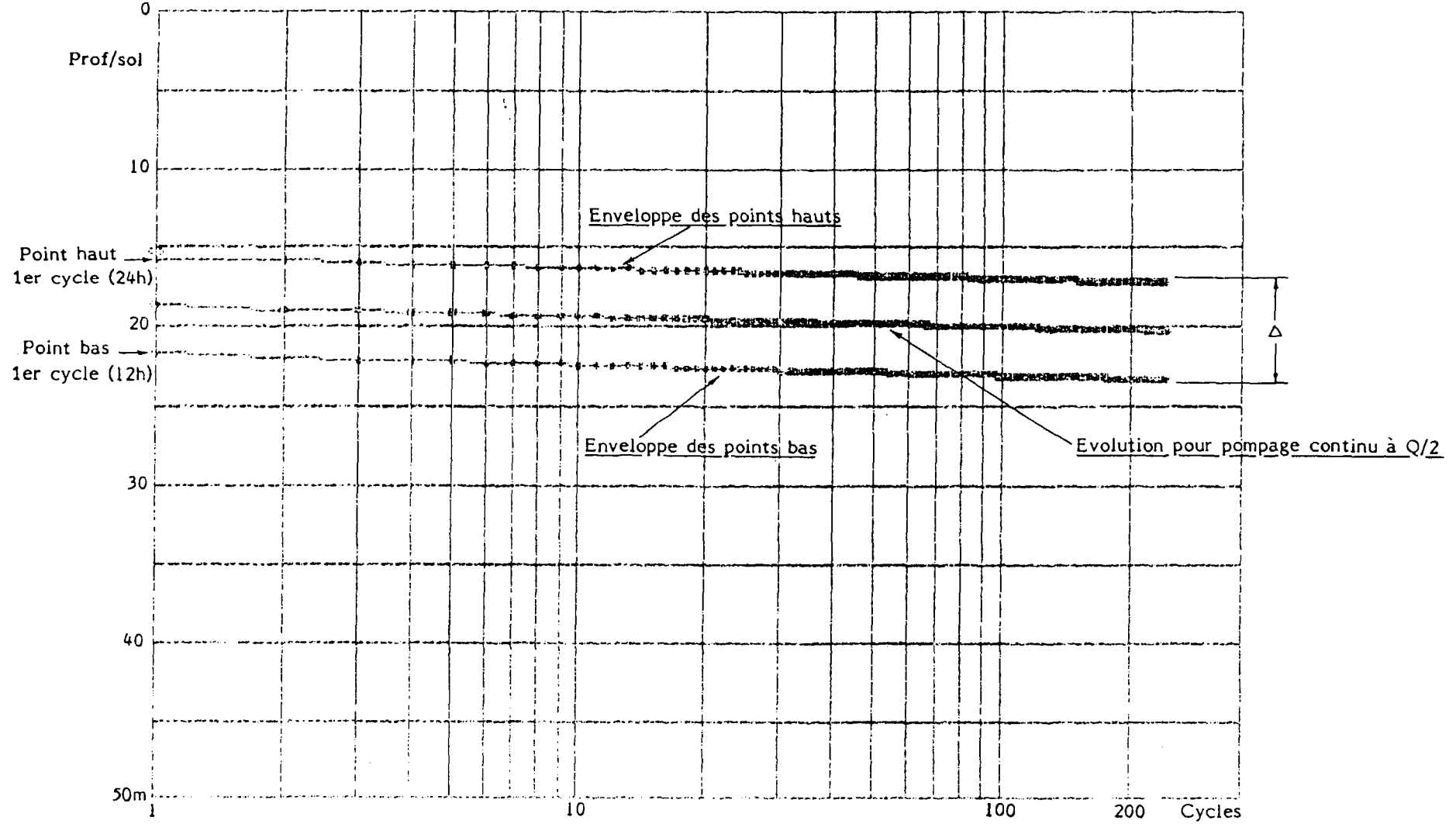
$$s \text{ (réel)} = A \cdot \log B t + J \quad [ 6b ]$$

Ces pertes de charge "J" sont indépendantes du temps et interviennent dès le démarrage du pompage ; leur connaissance est indispensable pour pouvoir estimer les rabattements à long terme.

Leur importance ne peut être mise en évidence par un seul palier de débit ; c'est la raison pour laquelle la méthode d'essai simplifié choisie et exposée ici comporte 3 paliers de débit croissants et enchainés. Ces paliers servent à établir la "courbe caractéristique" du forage qui permet de quantifier les pertes de charge pour tout débit d'exploitation envisagé.

- c) L'interprétation (classique) fondée sur les "rabattements spécifiques" (rabattements divisés par le débit instantané) permet à la fois de "gommer" les irrégularités souvent inévitables du débit de pompage, mais surtout de linéariser la courbe caractéristique du forage, ce qui simplifie considérablement son interprétation.

POMPAGES CYCLIQUES  
Exemple de sortie du modèle PCYCLI



### 1.6. Théorie des pompages cycliques (figure 1)

L'évolution des rabattements en saison sèche (environ 8 mois en région sahélo-soudanaise), répond exactement à la théorie du "régime transitoire pur", c'est à dire que la nappe n'est pas réalimentée pendant 8 mois.

L'une des difficultés rencontrées pour extrapoler à long terme des rabattements transitoires observés sur un essai de débit résulte du fait que les pompages réels d'exploitation ne sont généralement pas continus.

En hydraulique villageoise notamment, l'exploitation par pompe à énergie humaine est toujours irrégulière, car liée au rythme de vie des habitants du village ; dans la réalité, l'exploitation pour les besoins villageois est très souvent comprise entre 6 et 12 heures par jour.

Il est donc nécessaire de faire certaines hypothèses simplificatrices sur ce rythme d'exploitation, afin de pouvoir étudier analytiquement les rabattements : pour les besoins de la modélisation on a supposé par sécurité, que les pompes fonctionnaient pendant 12 heures par jour, à un débit moyen régulier, pompage quotidien suivi d'un repos nocturne de durée égale.

#### 1.6.1. Formulation analytique

Le rabattement théorique au forage, à tout instant  $t$  d'un pompage continu peut s'écrire, selon la formule de JACOB, sous la forme :

$$s = A. \log B.t \quad [ 6a ]$$

à condition de poser :

$$A = 0,183. Q / T \quad \text{et} \quad B = 2,25 T. t / r^2. S$$

Si l'on considère maintenant la superposition cyclique de pompages journaliers de débit  $Q$  constant et de durée  $t_0$  heures, suivis d'arrêts de durée  $(24 - t_0)$  en heures,

- si  $S_{t_0}$  représente le rabattement à la fin du premier cycle de pompage de durée  $t_0$

- si l'on pose en outre  $p = t_0 / 24$

on démontre (cf Annexe N°1) :

- a) que le rabattement en fin de pompage (point bas) d'une journée de rang n peut s'écrire :

$$B_n = S_{t_0} + A \log [(n-1+p).(n-2+p)...(1+p) / (n-1)!] \quad [ 8 ]$$

- b) et que le rabattement résiduel après la remontée quotidienne de la journée de rang n (points hauts) peut s'écrire :

$$H_n = A \log [ n ! / (1-p).(2-p)..(n-p) ] \quad [ 9 ]$$

### 1.6.2. Le modèle PCYCL1 (cf Annexe 1)

Sur la base des formules [ 8 ] et [ 9 ] ci-dessus énoncées, le modèle PCYCL1 réalisé à l'occasion de cette étude pour rendre compte des effets de ce pompage cyclique permet de calculer jour après jour la superposition successive, en régime transitoire pur, des rabattements (après 12 heures de pompage), et des relèvements (intervenus au cours des 12 heures de repos nocturne), et de les cumuler pendant n cycles.

Le modèle permet de calculer ainsi à chaque instant (au bout de n pas de temps journaliers), et notamment après 8 mois sans pluie (n = 240), les valeurs des niveaux hauts (NH), des niveaux bas (NB) et de  $\Delta (= NB - NH)$ , pour tout débit moyen Q supposé pompé 12 h sur 24 sur un forage de Transmissivité T, rayon efficace r, et coefficient d'emmagasinement S, connus.

- 1.6.3. La figure N°1, tracée à l'aide du modèle PCYCL1, montre que les n points hauts et les n points bas s'alignent respectivement sur deux droites sensiblement parallèles, distantes de  $\Delta$  .

La baisse régulière, ou "dérive" des niveaux hauts par rapport au niveau statique d'origine, traduit le fait qu'en raison des pompages cycliques, la nappe "n'a jamais le temps" de remonter à son niveau initial.

On montre également que ces deux droites, "enveloppes" des points hauts (le matin) et des points bas (le soir), sont parallèles à une troisième droite, qui leur est équidistante, et qui n'est autre que la droite de JACOB correspondant à un pompage continu de débit Q/2.

En application du principe de superposition, la baisse saisonnière (1) du niveau "statique" au cours de la saison sèche se superpose - sans affecter le  $\Delta$  - à chacune de ces deux droites.

Afin de vérifier la précision de la méthode d'essais proposée, le modèle ainsi établi a servi à calculer, sur des forages témoins dont le débit d'exploitation était relevé par compteur, les niveaux théoriques en fin de saison sèche, qui ont pu ensuite être comparés aux niveaux réellement mesurés en juin 1987.

## 2. VERIFICATIONS EXPERIMENTALES DE LA METHODE

Avant d'appliquer aux formations aquifères fissurées sous recouvrement d'altérites noyées la théorie des écoulements transitoires de THEIS et JACOB, il convenait de vérifier que la forme des courbes de rabattement obtenues sur le terrain est bien conforme à la théorie, et, dans le cas contraire, d'observer les exceptions, leur forme, et leur importance statistique.

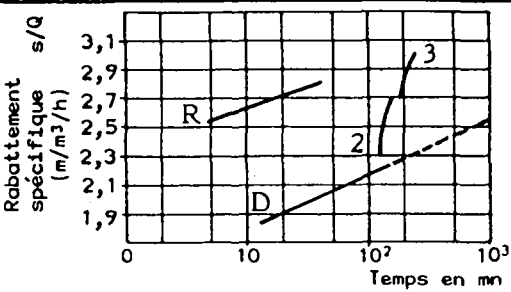
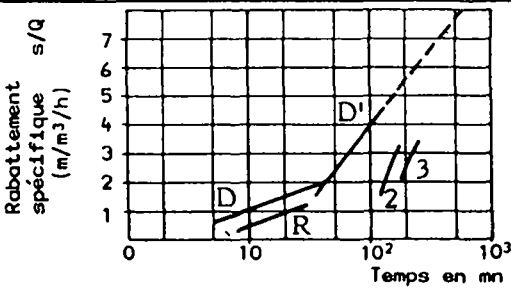
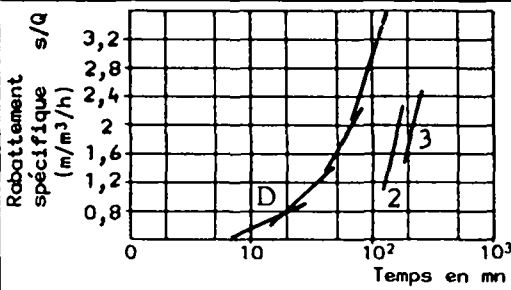
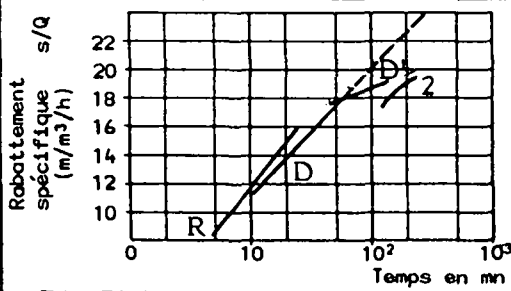
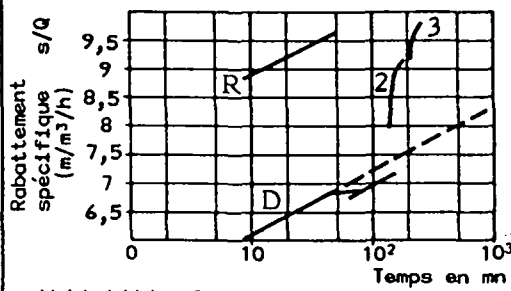
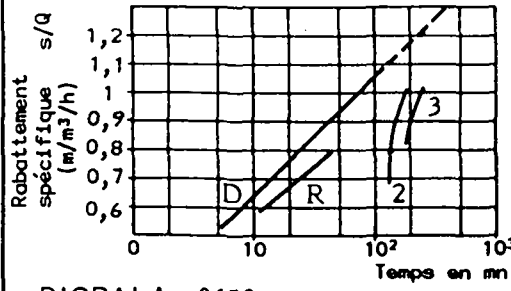
### 2.1. Analyse de 279 forages du "Projet Coton"

La première campagne sur laquelle la méthode d'essais simplifiés ici décrite a été appliquée systématiquement sur une grande échelle se situait en Côte d'Ivoire, dans les formations cristallines et birrimiennes des régions cotonnières : "Projet Coton" (D.C.H de Côte d'Ivoire, financement BIRD 1979-82, BURGEAP-RENADET Eng.).

L'analyse des diverses formes des "courbes" de JACOB obtenues sur 279 forages positifs a conduit à définir 6 cas types principaux, qui présentent la répartition statistique suivante (figure 2) :

---

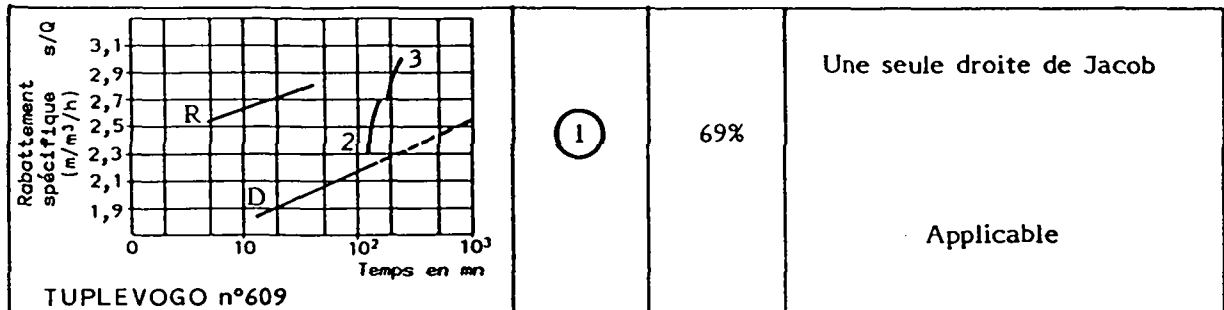
(1) Ainsi d'ailleurs que les éventuelles variations interannuelles du niveau de la nappe, cf. ci-après 2.5.

D : Descente R : Remontée 2,3 (2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> palier) --- Extrapolation		Type	Fréquence	Méthode d'essais brefs
 <p>TUPLEVOGO n°609</p>		①	69%	Une seule droite de Jacob  Applicable
 <p>BOBY n°348</p>		②	3%	Une augmentation de la pente  Applicable (Prendre par sécurité la pente la plus forte D')
 <p>GOETIFLA n°248</p>		③	7%	Doublement puis quadruplement de la pente : "vidange"  Méthode inapplicable
 <p>ZANFLA n°496</p>		④	4%	Une diminution de la pente  Prendre par sécurité la pente la plus forte  Applicable
 <p>KALAHA n°149</p>		⑤	7%	Effet "Boulton"  Extrapoler la pente de la première droite  Applicable
 <p>DIOBALA n°650</p>		⑥	5%	Développement  Applicable avec précautions
Essais mal réalisés =			5%	

ESSAI TYPE 1

DROITE DE JACOB A PENTE UNIQUE SUR 2 HEURES

193 CAS SUR 279, SOIT 69 %



L'essai de type 1 correspondant exactement à la théorie de JACOB, c'est à dire que les points du premier palier s'alignent en fonction du logarithme du temps sans anomalies autres que les "effets de puits" normaux (et calculables) sur les premiers points avant 10 minutes de pompage (cf. 6.2. de la plaquette, Annexe 4).

Dans le cas le plus général, les pertes de charge augmentent pour les 2° et 3° paliers de l'essai, et il en résulte que ces paliers sont souvent situés au dessus de la droite de JACOB du premier palier.

La méthode de JACOB est applicable à ce type de courbes, directement et sans difficultés en extrapolant la droite D du premier palier.

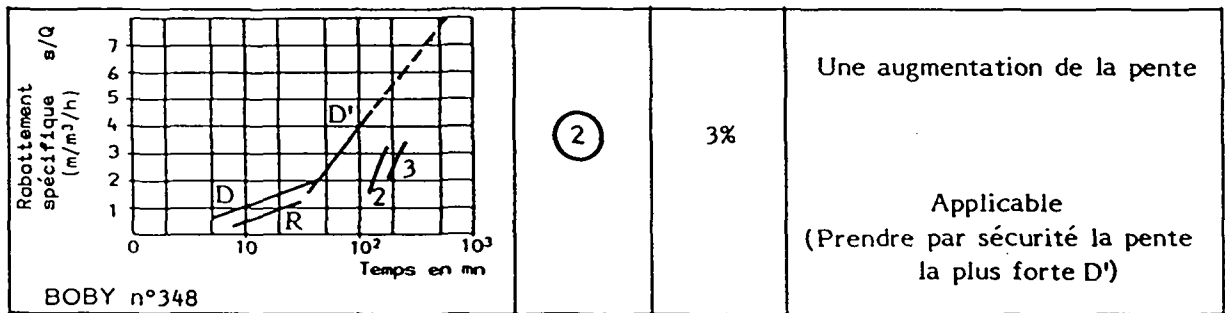
Il s'agit, dans 146 cas sur 193, (soit 75 %) de forages ayant traversé plus de 10 mètres d'altérites mouillées au dessus du socle fracturé.



ESSAI TYPE 2

UNE SEULE AUGMENTATION DE PENTE DE LA DROITE DE JACOB,  
QUI INTERVIENT AVANT 30 MINUTES EN GENERAL.

9 CAS SUR 279, SOIT 3 %



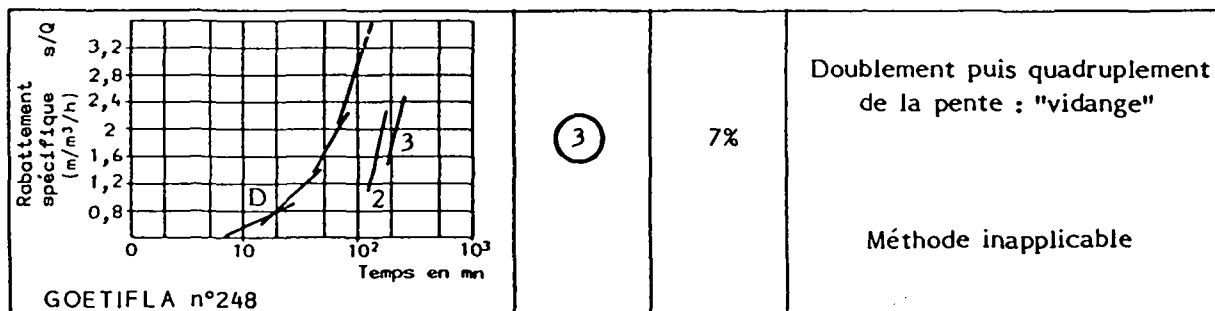
Dans ce type d'essai, assez rare, qui semble indiquer une zone légèrement plus fissurée au droit du forage.

La méthode proposée est applicable à la condition de considérer la droite de pente, D', de la fin du premier palier.

ESSAI TYPE 3

COURBE CONCAVE VERS LE HAUT  
"ENVOL" DES RABATTEMENTS

19 CAS SUR 279, SOIT 7 %



Pendant les 2 heures du premier palier de l'essai, on observe 2 ou 3 augmentations de pente successives (doublément puis quadruplement de la pente), ce qui donne à la courbe de JACOB une allure concave vers le haut, traduit un "envol" rapide des rabattements spécifiques, et entraîne ou accompagne le plus souvent un dénoyage des fractures aquifères avant la fin de l'essai.

Un tel essai, tracé en coordonnées arithmétiques ( $s = f(t)$ ), conduit souvent à une droite, ce qui traduit une "vidange" de réservoir ; ce cas se produit notamment pour les essais pratiqués à un débit trop élevé pour les capacités du forage.

On note par ailleurs, que ce type de courbe, (que l'on ne rencontre jamais dans les terrains schisteux, grauwackes, etc, du Birrimien), correspond dans 13 cas sur 19 à des forages où l'épaisseur d'altérites mouillées est nulle.

La méthode d'essai proposée n'est pas applicable aux essais de type 3.

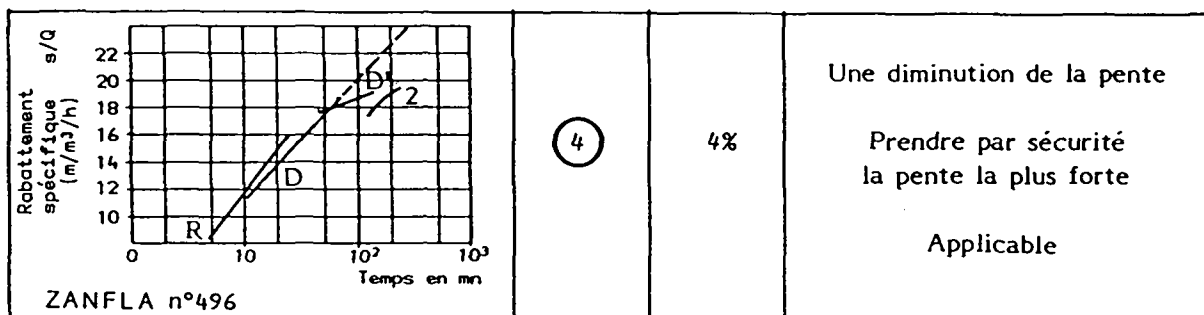
Il faut tenter dans ce cas l'interprétation par une méthode spécifique des milieux fissurés (GRINGARTEN), en s'assurant toutefois que les fissures aquifères ne sont pas dénoyées au cours de l'essai. L'exposé de ces méthodes sort du cadre de ce rapport (1).

(1) Voir "Interprétation des pompages d'essai en milieu fissuré", B.R.G.M, Document 57, 1983.

ESSAI TYPE 4

REDUCTION DE LA PENTE DE LA DROITE DE JACOB

10 CAS SUR 279, SOIT 4 %



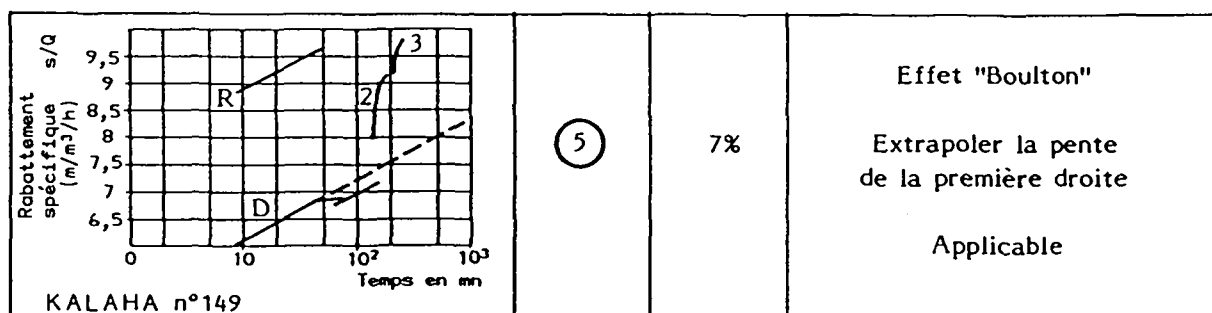
Ce type de courbe qui traduit une amélioration des caractéristiques à brève distance du forage, est peu fréquent : sur les 10 cas rencontrés, 9 correspondent à des épaisseurs d'altérites noyées supérieures à 10 mètres, dont 6 supérieures à 20 mètres.

La méthode d'essais simplifiés est applicable, mais par sécurité il est préférable de retenir pour l'interprétation la première pente, la plus forte.

ESSAI TYPE 5

PENTE SUIVIE D'UNE BRANCHE SUBHORIZONTALE  
PARFOIS SUIVIE D'UNE REPRISE DE LA PREMIERE PENTE

20 CAS SUR 279, SOIT 7 %



Selon toute vraisemblance, ce type de courbes correspond à des phénomènes de réalimentation de type "BOULTON", en provenance de l'aquifère secondaire de médiocre perméabilité, mais de très fort coefficient S, contenu dans les altérites superposées.

Après un certain temps, selon cette théorie, doit se produire la reprise de l'évolution des rabattements selon une seconde droite, parallèle à la première droite de JACOB ; cette seconde droite n'est pas toujours obtenue avant la fin des 2 heures du premier palier.

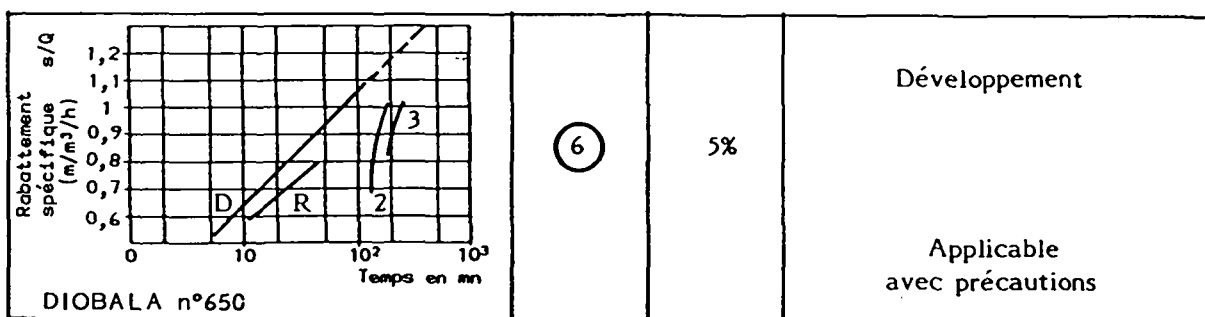
On remarque que sur les 20 cas dans lesquels on rencontre ce type de courbes, 18 correspondent à la présence de plus de 10 mètres d'altérites mouillées.

La méthode simplifiée est applicable, mais par mesure de sécurité, on adoptera, pour l'extrapolation, la première droite de JACOB, la plus pentée.

### ESSAI TYPE 6

IDENTIQUE AU TYPE 1, MAIS AVEC 2° et 3° PALIERS AU DESSOUS DE LA DROITE DU 1er PALIER

14 CAS SUR 279, SOIT 5 %



Ce type, analogue a priori au type 1, avec une seule pente de droite de JACOB, en diffère cependant en ce que les deuxièmes et troisièmes paliers de débit sont situés au dessous de la droite du premier palier, comme si les plus forts débits étaient affectés de "pertes de charge négatives".

Ce cas doit correspondre à des phénomènes de développement intervenus lors des changements de paliers ; la diminution des pertes de charge sera alors confirmée si la droite de JACOB de la remontée est bien parallèle à la droite du premier palier.

L'application de la méthode simplifiée à ce type de courbes ne peut plus prendre en compte les pertes de charge puisque, dans ce cas, la droite caractéristique est pentée en sens inverse ; l'interprétation doit donc se faire avec prudence, notamment pour le calcul du débit maximum.

### ESSAIS ATYPIQUES OU MAL REALISES

13 CAS SUR 279, SOIT 5 %

Signalons, pour être complets, 13 essais atypiques ou inclassables qui correspondent très vraisemblablement à des essais manqués, mal réalisés, résultant d'un mauvais contrôle de la régularité du débit de pompage, ou d'erreurs lors des mesures de niveau.

Pour conclure cette analyse portant sur 279 forages dans le socle cristallin et birrimien de Côte d'Ivoire, on doit retenir que :

L'interprétation des essais brefs par la méthode de JACOB ne s'applique certainement pas aux essais de type 3, qui correspondent presque systématiquement à des cas de roches fissurées non recouvertes d'altérites noyées, (7% des cas) ; cette méthode est par ailleurs délicate d'emploi pour les essais de type 6 (5% des cas).

La méthode des essais brefs par paliers est, par contre, directement applicable aux essais de type 1, (une seule droite de JACOB) qui représentent 69% des cas.

Elle est applicable en outre aux essais de type 2, 4 et 5, (qui totalisent 14% des cas rencontrés), à la condition de toujours retenir (à titre de sécurité) la droite de JACOB de pente la plus forte.

Au total, la méthode proposée s'applique à 83% des 279 cas étudiés dans le Nord de la Côte d'Ivoire, ce qui représente une proportion qui justifie largement de s'y intéresser, et d'envisager une application pratique plus largement répandue.

Toutefois, (et quelque soit le type d'essai que l'on envisage de pratiquer), cette analyse a également montré qu'il est nécessaire de se montrer prudent lorsque les altérites sont sèches, ou lorsque l'interprétation montre qu'elles risquent d'être dénoyées en cours d'exploitation.

De nombreuses campagnes ultérieures ont montré qu'effectivement les résultats obtenus en Côte d'Ivoire sont parfaitement extrapolables à d'autres pays (notamment Bénin, Burkina Faso, Guinée, Mali, Mauritanie, ...), de géologie voisine (socle, voire grès anciens) et de climat proche, lorsque les conditions de recouvrement aquifère du socle fissuré sont analogues.

## 2.2. Analyse du projet "Yatenga" Burkina Faso

La méthode des essais brefs par paliers étudiée ici a été également utilisée au Burkina Faso (1982-87) dans le cadre du projet 5° FED "Yatenga-Comoé".

Elle y a été appliquée à 250 forages correspondant à la première phase du sous-projet Yatenga : au cours de 3 ans qu'a duré cette première phase, on n'a constaté que 9 dénoyages de pompes soit 3,6 % des ouvrages.

- Encore doit-on remarquer que pour 4 des forages dont les pompes dénoient, l'application de cette méthode avait conduit à les déclarer négatifs, et à les classer en piézomètres.

Cependant, en raison de la forte demande, dans des villages où plusieurs forages secs avaient déjà été réalisés, ils ont été équipés de pompes VERGNET, d'un débit de 700 l/h, malgré les faibles débits (moins de 500 l/h) obtenus au soufflage.

On est en droit de penser, par ailleurs, que la consigne qui avait été donnée, pour ces forages, de limiter l'exploitation à 6 heures par jour n'a probablement pas été respectée.

- Pour les 5 autres, le dénoyage peut, après coup, être attribué à une application insuffisamment stricte de la méthode : les fissures productrices étant très proches du niveau statique, leur dénoyage aurait pu être prévu, et ces forages n'auraient également pas dû être équipés.

## 2.3. Comparaison essais brefs et essais longs

Une dizaine d'essais de pompages de longue durée, parfois suivis sur piézomètres, ont été rassemblés par le CIEH dans le cadre de la présente étude, d'autres ont été recherchés dans les archives de BURGEAP. Ont été retenus finalement ceux sur lesquels on disposait d'essais brefs par paliers, en plus du pompage de longue durée.

En outre, bien qu'ils n'aient pas été précédés d'essais par paliers, nous avons également étudié les 10 essais prolongés de 72 heures réalisés par le BRGM dans le cadre de l'étude relative à "la recharge naturelle des aquifères de socle sous climat sahélien et soudanien" (86 BFA 177 EAU).

2.3.1. Essais longs précédés d'essais par paliers

L'analyse de sept forages soumis à des essais brefs par paliers, a permis de comparer les résultats de la méthode d'essais brefs décrite ici, aux résultats d'essais plus prolongés (24 à 33 heures), pratiqués ensuite.

Pour ces 7 forages, on a mis en parallèle les rabattements réellement obtenus à la fin de l'essai prolongé, et les rabattements que l'on peut calculer à partir des seules informations fournies par le bref essai préliminaire par paliers.

Ces comparaisons sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous :

COMPARAISON ESSAIS COURTS / ESSAIS LONGS  
(Précédés d'essais par paliers)

TABLEAU N°1

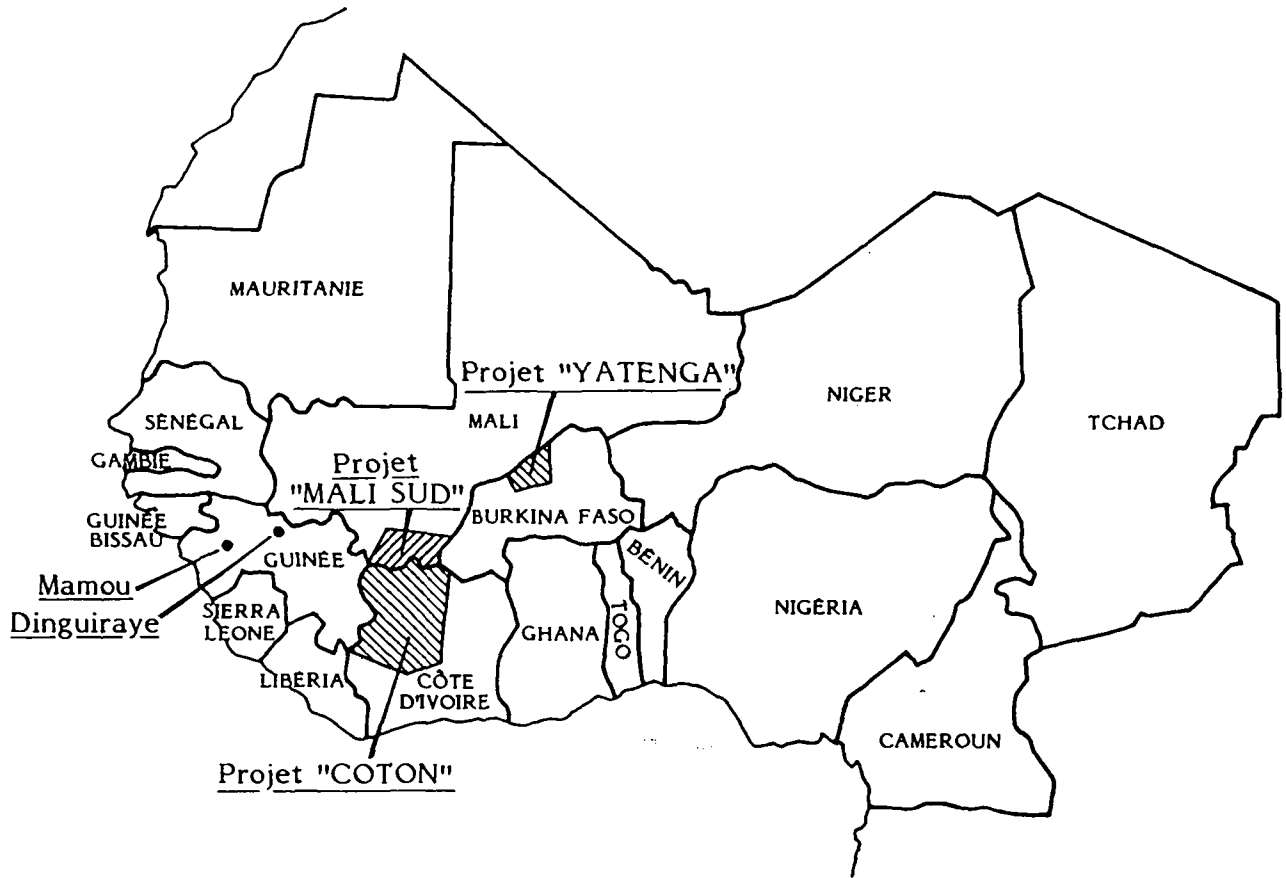
FORAGE	PAYS	N°	DEBIT ESSAI m <sup>3</sup> /h	DUREE ESSAI h	RABATTEMENT EN FIN D'ESSAI LONG			GEOLOGIE
					REEL OBSERVE	CALCULE D'APRES ESSAI 2h	SOIT PRECISION EN %	
MORONDO	C.IVOIRE	271F2	5	24	9,58	10,6	+10,6%	granite
BOOKO	C.IVOIRE	654	10	24	5,45	5,30	- 2,7%	? *
TIASSO	C.IVOIRE	70F1	11	24	21,89	20,87	- 4,6%	schiste
SEYDOUGOU	C.IVOIRE	114F1b	8,4	24	18,73	19,19	+ 2,4%	granite
ZABRE	BURKINA FASO	SZ3	2,5	33	22,20	20,15	- 9,2%	granite
MAMOU	GUINEE	MF5	55	32	9,55	9,37	- 1,9%	granite
DINGUIRAYE	GUINEE	DF3	8,8	24	24,01	24,20	+ 0,8%	granite

\* forage ancien coupe inconnue

On observe que l'estimation du rabattement à 24 heures obtenue à partir d'essais brefs par paliers (qui permettent de tenir compte des pertes de charge quadratiques) est obtenue avec une précision extrêmement satisfaisante : c'est la précision de l'essai lui-même.



SITUATION DES LIEUX ET DES PROJETS CITÉS



Localisation des essais de débit de longue durée cités au Burkina Faso



2.3.2. Essais longs non précédés d'essais par paliers

Les 10 forages réalisés par le B.R.G.M. dans le cadre de l'étude de la recharge naturelle des aquifères de socle sont répartis du Nord au Sud du Burkina Faso (figure 3) et ont fait l'objet d'essais de 72 heures à débit constant.

A défaut de pouvoir appliquer la méthode complète tenant compte des pertes de charge, on peut tenter d'observer si les deux premières heures de l'essai permettent de prévoir l'évolution des niveaux à 72 heures.

Cette comparaison a été faite, en considérant parfois un temps moins long lorsque des incidents de pompage sont intervenus (Gorom-Gorom et Silmissin) ; elle aboutit aux résultats suivants :

COMPARAISON ESSAIS LONGS/COURTS  
(Essais non précédés de paliers)

TABLEAU 1 bis

FORAGE	N°	(m) EPAIS. ALTERITE NOYEEES	DEBIT ESSAI m <sup>3</sup> /h	DUREE ESSAI h	RABATTEMENT FIN D'ESSAI LONG				GEOLOGIE
					REEL OBSERVE	PREVU ESSAI BREF	SOIT PRECISION		
							m	%	
ARIBINDA	N I 2	0	1,8	72	9,25	6,7	-2,55	-27,6	Amphibolite
GOROM G.	N II 4	0	1,8	56	12,12	5,8	-6,32	-52,1	Gneiss
KATCHARI	N III 1	0	11,5	72	6,48	4,28	-2,2	-33,9	Tonalite
BASSEKO	C I 3	13	0,8	72	10,07	9,64	-0,43	- 4,3	Granite
SILMISSIN	C II 1	20	2,8	24	8,62	8,78	0,16	1,9	Granite
BAROGO	C III 2	18	4,8	72	9,44	9,30	-0,14	- 1,5	R. Verte
TIBOU	C IV 2	35	4	72	20,57	20,61	0,04	0,2	Phyllade
SIDERADOUGOU	S I 1	18	1,9	72	15,62	15,26	-0,36	- 2,3	Gabbro
NIANGOLOKO	S II 1	0	1,5	72	4,95	4,95	0	0	Granite
NAFONA	S III 1	22	2,6	72	25,18	25,18	0	0	Phyllade

On remarquera là encore, sur le tableau n°1 bis :

- a) Que la théorie de THEIS-JACOB s'applique correctement, et permet de prévoir les rabattements avec une excellente précision dans tous les cas (6 sur 10) où il existe des altérites noyées ; la prévision des rabattements à 72 heures à partir des 2 premières heures de l'essai est alors correcte à moins de 5% près.
- b) Que les trois essais pour lesquels l'évolution du rabattement au cours des deux premières heures ne permet pas d'estimer correctement le rabattement après 2 à 3 jours, correspondent au cas - déjà signalé plus haut - de forages où il n'existe pas d'altérites noyées.

L'examen de la coupe de chacun de ces 3 forages montre par ailleurs que les premières venues d'eau notées en forage se sont trouvées dénoyées en cours de pompage ... il paraît donc logique que les rabattements évoluent plus rapidement que la théorie.

- c) Enfin sur un dernier forage, celui de Niangoloko, les rabattements répondent très exactement à la théorie de JACOB, bien qu'on n'y rencontre pas d'altérites noyées : l'analyse de la coupe de l'ouvrage montre que, sur ce forage, les fissures n'ont pas été dénoyées en cours d'essai.

En définitive, l'analyse détaillée qui a été faite de près de 300 forages provenant de divers pays et de diverses campagnes, permet d'affirmer que, dans 80 % des cas au moins, et en particulier lorsqu'il existe un aquifère secondaire d'altérites noyées, la théorie de THEIS-JACOB peut être appliquée avec une sécurité acceptable dans la pratique.

#### 2.4. Contrôle expérimental de validité de la méthode

Un contrôle expérimental supplémentaire a été réalisé, dans le cadre de la présente étude, sur des forages villageois burkinabè, de débit connu (car mesuré par compteurs dans le cadre du projet BIRD-PNUD N° INT/81/026), afin de préciser sur le terrain le degré de fiabilité de la méthode dans l'appréciation du niveau dynamique en fin de saison sèche.

La procédure utilisée pour effectuer ce contrôle expérimental sur des forages villageois soumis à des conditions réelles d'exploitation par pompes à énergie humaine (pompages cycliques) est décrite ci-après :

#### 2.4.1. Choix des forages, calculs préliminaires

Toutes les données relatives à une quarantaine de forages villageois du Burkina Faso, exploités, et équipés de compteurs depuis 2 ou 3 ans, ont été préalablement rassemblées par les soins du CIEH avant mai 1987.

Malgré leur grand intérêt, lié à leur fort débit, les forages du projet " Volta Noire ", équipés de pompes VOLANTA et de compteurs n'ont pu être retenus, faute de pouvoir démonter les pompes pour faire les mesures de niveau indispensables.

Ont ensuite dû être éliminés les forages dont les essais étaient ininterprétables, ou avaient été réalisés à débit trop élevé, ce qui entraînait le dénoyage des fissures aquifères avant la fin de l'essai, et conduisait à des courbes inutilisables (essais type 3).

Finalement, les données nécessaires ont pu être rassemblées sur 14 forages, pour lesquels on disposait d'essais par paliers, utilisables selon la méthode à tester : 10 issus du projet "Yatenga", et 4 du projet "Conseil de l'Entente", situés dans la région de Ouagadougou.

- \* A partir des essais de réception initiaux par paliers, on a pu déterminer pour chacun de ces 14 forages la pente  $d$  de la droite de JACOB, dont on déduit la valeur la plus probable de la transmissivité "équivalente"  $T$ .
- \* Les paliers de débit des essais initiaux, fournissent les pertes de charge ; elles permettent (par simple soustraction) d'obtenir les rabattements théoriques corrigés que l'on aurait obtenus lors du premier palier à 30, 60 et 120 minutes, si le forage avait été "parfait", c'est à dire sans pertes de charges anormales.
- \* Ne disposant pas de piézomètre, on ignore  $S$ . Par ailleurs, s'agissant de milieu fissuré, le rayon efficace réel du forage  $r$  est mal connu.

On parvient cependant, en quelques itérations sur la formule de JACOB, à "caler" la valeur du coefficient global  $1/r^2.S$  qui, avec les valeurs de  $Q$  et  $T$  données par l'essai permet de retrouver au mieux les valeurs de rabattement corrigé calculées ci-dessus.

#### 2.4.2. Application du modèle PCYCL1

Finalement, les valeurs de  $T$  et  $1/r^2S$  ainsi obtenues, sont introduites dans le modèle de pompage cyclique PCYCL1, avec le débit moyen réel  $Q_e$  exploité au cours de la saison sèche 1986-87, et connu par compteur.

Le modèle PCYCL1 fournit alors, pour chacun des 14 forages retenus, les valeurs théoriques, calculées en nappe horizontale non soumise à fluctuations, du Niveau haut (NH), du Niveau bas (NB), et de  $\Delta$  (NB - NH), au bout de 8 mois.

#### 2.4.3. Contrôle sur le terrain

Les 14 forages sélectionnés ont fait ensuite l'objet d'une tournée de contrôle sur le terrain, pour mesurer sur place, en fin de saison sèche 1987, après 8 mois d'exploitation, le niveau "haut" réel (NH\*), après remontée de la nuit, le niveau bas (NB\*) en fin de journée de pompage, et en déduire le  $\Delta^*$  réel (NB\*-NH\*).

M. DIAGANA, du C.I.E.H a donc visité les 14 forages sélectionnés, entre le 13 et le 19 juin 1987, soit 8,5 mois après les dernières pluies importantes de Septembre 1986, le mois d'octobre 1986 ayant été peu pluvieux (10% environ des pluies de septembre).

Au cours de ces contrôles ont été effectués sur chacun :

- a) La lecture du compteur et le contrôle de son coefficient d'erreur (sur 60 litres).
- b) La mesure du niveau "statique" le matin après 12 heures d'arrêt contrôlé du pompage pendant la nuit (NH\*).
- c) Le niveau dynamique en fin de journée a été contrôlé par un pompage d'une demi-heure, qui fut toujours effectué en fin d'après midi, et extrapolé à la fin de la journée en fonction de l'heure de la visite.

Après correction du débit exploité réel, cette mesure fournit une valeur probable du niveau "bas" (NB\*), de la théorie des pompages cycliques.

Un exemple de cette démarche (forage de Bonsomnoré N°3), est explicité en annexe 2.

2.4.4. Résultats, validité des reconstitutions

Le tableau N°2 présente les résultats comparés entre les valeurs calculées et observées des NH, NB, et  $\Delta$ .

Signalons tout d'abord que, sauf 2 exceptions (GOUE et POA KOUKIN), les niveaux (hauts et bas) qui ont été mesurés sont toujours situés plus bas que les niveaux calculés correspondants.

L'explication de ce phénomène paraît évidente : il est à rapporter à la baisse saisonnière du niveau ( $\Delta$  NS) à laquelle s'ajoute très certainement dans de nombreux cas une baisse interannuelle ( $\Delta$  IA) généralisée des aquifères liée à la sécheresse actuelle, nous y reviendrons en 2.4.7.

VALIDITE DES RECONSTITUTIONS EFFECTUEES

TABLEAU N°2

NOM	T. 10-5 m2/s	1/r <sup>2</sup> S	NIVEAUX HAUTS		NIVEAUX BAS		DIFFERENCES		d $\Delta = \Delta 2 - \Delta 1$	
			MESU- RES m	CALCU- LES m	MESU- RES m	CALCU- LES m	MESU- RES $\Delta 1$ (m)	CALCU- LES $\Delta 2$ (m)	abs.	%
ANSOLMA	5,55	290,E7	15,60	14,39	20,01	17,82	4,41	3,43	-0,98	-22 %
BONSOMNORE1	2,5	294	23,77	16,36	28,82	21,38	5,05	5,02	-0,03	- 0,6 %
BONSOMNORE3	2,38	367,E2	25,37	17,15	30,86	23,30	5,49	6,15	+0,66	12 %
BOUGOUNAM	3,8	245	19,61	18,47	20,97	21,48	1,36	3,01	+1,65	121 %
COURCY	15,2	147,E1	18,16	15,93	19,52	17,19	1,36	1,26	-0,10	- 7 %
KOUMBANE	17,8	140,E7	17,67	15,06	18,46	15,58	0,79	0,72	-0,07	- 9 %
RAMBO 1	3,0	184,E1	10,27	8,52	12,06	11,41	1,79	2,89	+1,10	61 %
RAMBO 2	2,25	587,E3	25,23	23,76	33,18	31,45	7,95	7,69	-0,26	- 3 %
SAYE	12,5	240,E6	24,95	21,05	26,70	23,40	1,75	2,35	+0,60	34 %
SOMIANGA	2,1	245	30,79	16,52	34,89	21,48	4,10	4,96	+0,86	21 %
GOUE	0,71	735,E2	17,54	18,05	20,83	21,83	3,29	3,78	+0,49	15 %
KOULGOREN	2,5	294,E1	4,74	3,41	6,59	5,28	1,85	1,87	-0,02	1 %
LOUMBILA	1,39	184,E2	11,14	7,09	14,16	9,70	3,02	2,61	-0,41	-14 %
POA KOUKIN	2,5	294	5,42	6,98	6,96	10,20	1,54	3,22	+1,68	109 %

Nota : 184, E2 signifie 184 x 10<sup>2</sup>

L'analyse de ce tableau de résultats appelle plus d'un commentaire :

- a) Il montre d'abord qu'en valeur absolue, l'écart entre les valeurs de  $\Delta$  mesurées et calculées, (les seules qui soient directement comparables indépendamment de toute fluctuation saisonnière), est inférieur au mètre dans 85% des cas (12 sur 14).  
Ceci confirme expérimentalement que la méthode utilisée permet, dans la grande majorité des cas, à partir d'un essai de pompage de 4 heures de prévoir à moins d'1 mètre près le rabattement après 8 mois d'exploitation, en nappe stable.
- b) Ce tableau montre également que la différence " $\Delta$ " entre points hauts et points bas est reconstituée avec une erreur inférieure à 25% en valeur relative dans 71% des cas (10 sur 14).
- c) Il montre enfin que les écarts " $d\Delta$ " les plus élevés (> à 50 cm), vont dans le sens de la sécurité dans 85% des cas (6 sur 7).

La méthode utilisée minimise donc les risques de dénoyage, même dans les cas où la reconstitution est la moins satisfaisante.

#### 2.4.5. Estimation des fluctuations interannuelles

Remarquons pour terminer que la méthode utilisée permet également d'obtenir un ordre de grandeur de la baisse interannuelle de niveau intervenue entre le moment où ces forages ont été réalisés (entre 1982 et 1984), et 1987, année du contrôle.

Dans le tableau N°3, la baisse intervenue entre le niveau statique de l'essai initial (réalisé 3 à 5 ans auparavant) et le point haut mesuré fin juin 1987 a été corrigée de la fluctuation saisonnière annuelle probable  $\Delta_{NS}$ , conformément à la méthode explicitée en 5.1 de la notice pédagogique, à l'aide de l'abaque empirique proposé.

De ce tableau, il ressort une baisse "résiduelle" de niveau statique, que l'on doit, selon toute vraisemblance attribuer à la fluctuation interannuelle  $\Delta_{IA}$  due à la sécheresse actuelle, (cf. ci-après, 2.5.1). Cette fluctuation paraît plus élevée dans les schistes que dans les granites.

Cette fluctuation interannuelle (entre 1982 et 1987 pour les forages qui nous occupent) pourrait être de l'ordre de 0 à 0,5 mètre/an dans les granites, et beaucoup plus importante (entre 0,8 et 2,5 mètres/an) dans les schistes.

BAISSE NATURELLE DES NIVEAUX DE NAPPE  
DANS LES 14 FORAGES ETUDIES

TABLEAU N° 3

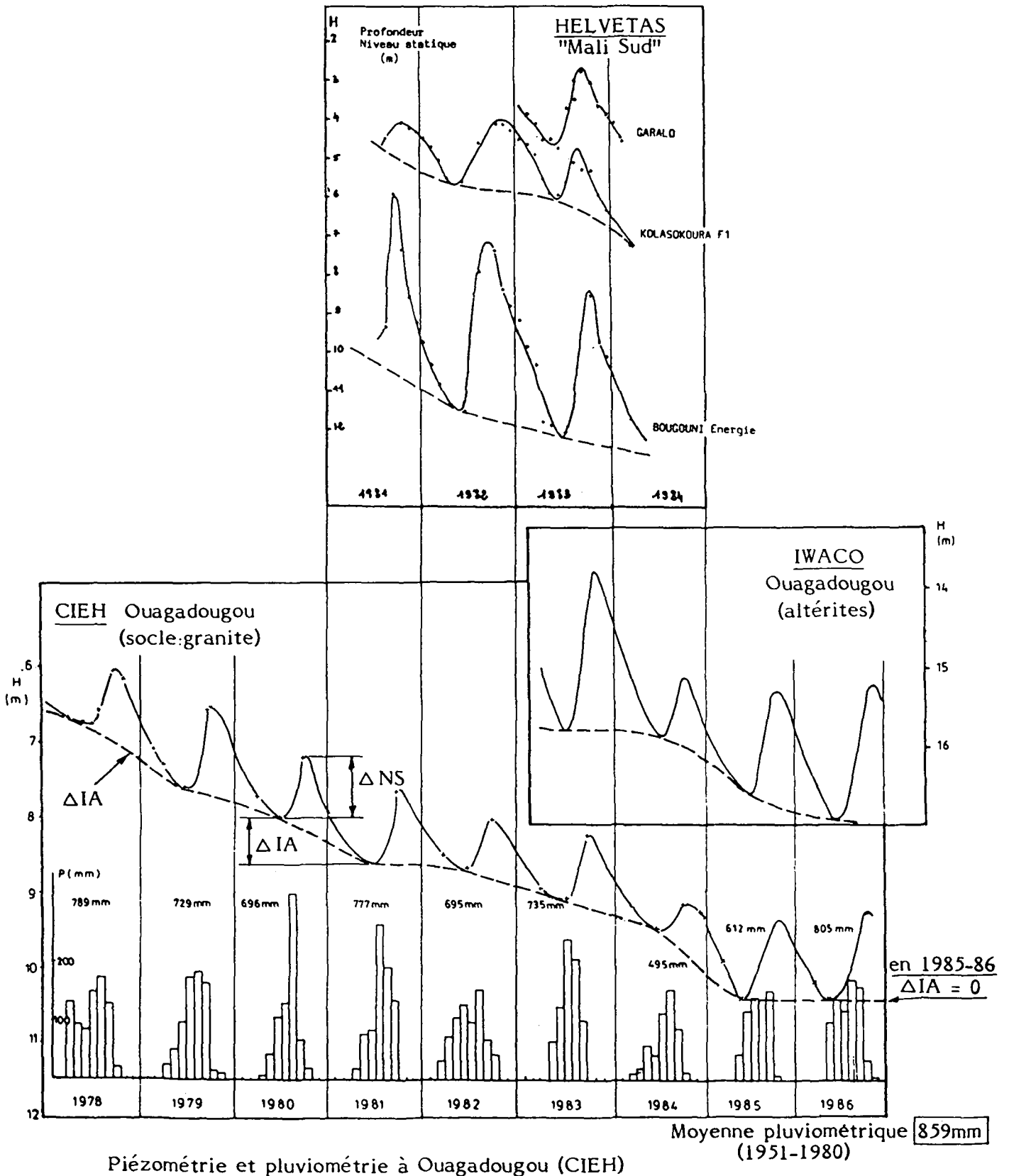
NOM	GEOLOGIE	DATE ESSAI	DIFFERENCE NIVEAU HAUT	CORRECT. SAISON. (approx)	NOMBRE ANNEES ECOULEES	TOTAL BAISSE INTERANN.	MOYENNE DE BAISSE PAR AN
ANSOLMA	Granite	3/84	1,21	(1,2)	3	0	0
BOUGOUNAM	Granite	1/83	1,14	(1,2)	4	0	0
GOURCY	Granite	9/84	2,23	(2,2)	3	0	0
KOUMBANE	Granite	3/84	2,61	(1,1)	3	1,5	0,5
RAMBO 1	Granite	4/84	1,75	(1,5)	3	0,25	0,1
RAMBO 2	Granite	5/84	1,47	(0,2)	3	1,3	0,4
KOULGOREN	Gneiss	7/84	1,33	(0,0)	3	1,3	0,4
LOUMBILA	Granite	11/83	4,05	(5,5) ?	4	0	0
BONSOMNORE1	Schiste	7/82	7,41	(0,0)	5	7,4	1,5
BONSOMNORE3	Schiste	7/82	8,22	(0,0)	5	8,2	1,6
SAYE	Schiste	7/82	3,90	(0,0)	5	3,9	0,8
SOMIANGA	Schiste	8/82	14,27	(2,5)	5	11,8	2,4
GOUE	Granite	12/83	-0,51	(1,5)	4	remontée ??	
POA KOUKIN	Granite	4/84	-1,56	(2,0)	3	remontée ??	

Les remarques relatives à ce tableau N° 3 introduisent tout naturellement à l'analyse des fluctuations saisonnières et des baisses interannuelles observées en d'autres lieux, au Burkina Faso et ailleurs.



Figure 4

FLUCTUATIONS SAISONNIÈRES ET INTERANNUELLES  
CONNUES SUR PLUSIEURS ANNÉES



## 2.5. Fluctuations des nappes

### 2.5.1. Baisse interannuelle liée à la sécheresse $\Delta$ IA

Les figures 4 et 5 rassemblent quelques données récentes sur les fluctuations des nappes de socle en Afrique de l'Ouest.

\* La figure 4 relative au piézomètre suivi depuis près de 10 ans par le CIEH à Ouagadougou montre clairement la baisse régulière  $\Delta$  IA due au déficit pluviométrique de la récente sécheresse. Cette baisse, de l'ordre de 30 à 80 cm par an, confirme bien l'ordre de grandeur des valeurs qui ressortent du tableau n°3 pour le milieu granitique.

Le forage de Ouagadougou-ville, suivi par IWACO, et qui capte les seules altérites, est reporté sur la même figure ; il montre une fluctuation interannuelle équivalente, de même que celles notées par HELVETAS à Bougouni dans le projet "Mali Sud" (coupes inconnues).

Tous ces graphiques font clairement ressortir la baisse interannuelle "de fond",  $\Delta$  IA à laquelle viennent à chaque hivernage se superposer les fluctuations saisonnières  $\Delta$  NS.

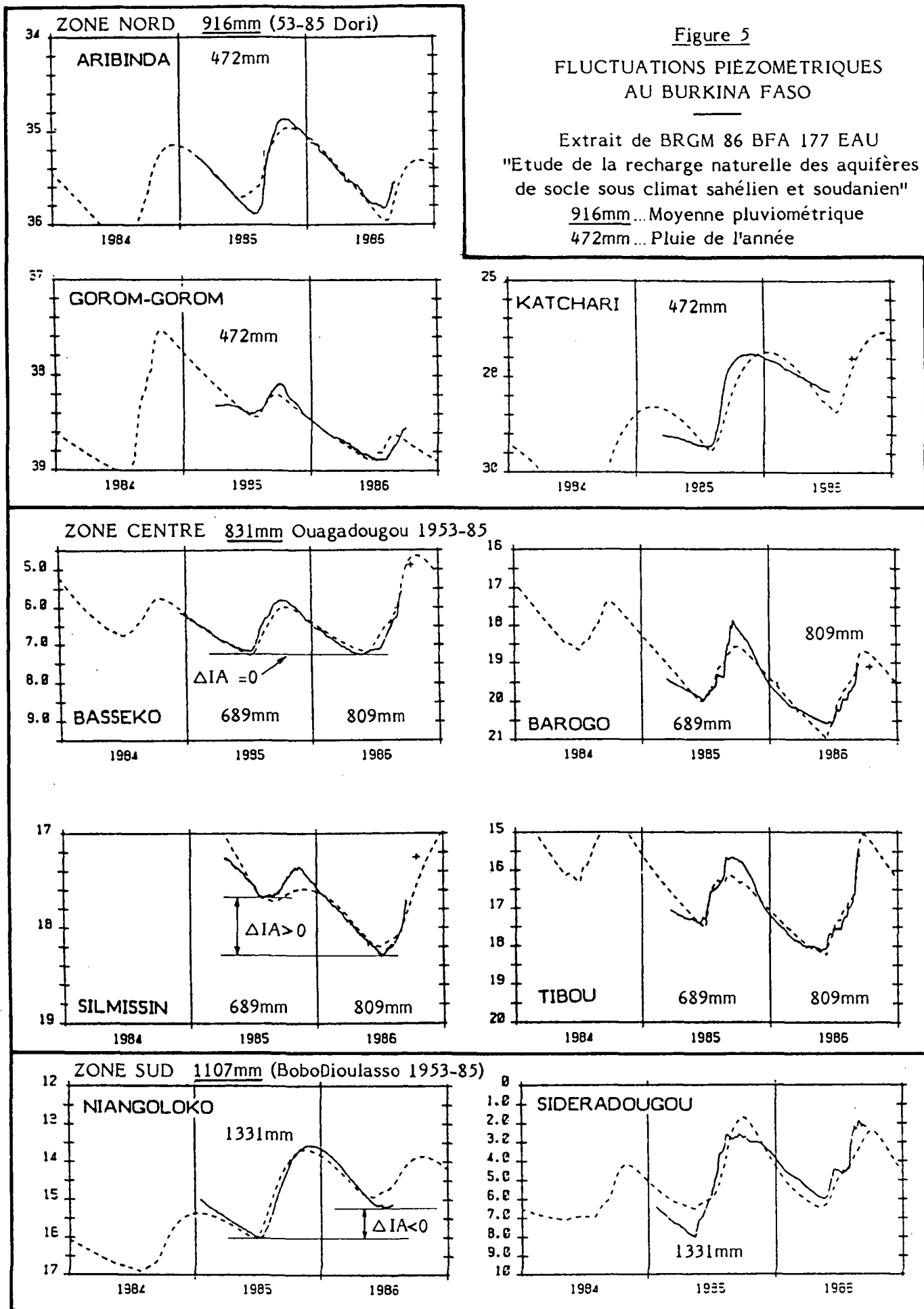
\* La figure N° 5 (page 38) regroupe des documents établis par le BRGM, lors de l'étude de la recharge naturelle des aquifères de socle, dans 3 régions distinctes du Burkina Faso en 1985 et 1986.

Si cette figure confirme bien, pour 4 forages (Gorom - Gorom, Barogo, Tibou et Silmissin), l'évolution générale à la baisse notée sur le forage CIEH de Ouagadougou, elle montre également, au moins pour deux stations (Aribinda et Basseko), une évolution stable et même sur 3 autres, (Katchari, Niangoloko, Sideradougou) dont deux dans le Sud, une tendance à la remontée qui semble traduire les effets du bon hivernage de 1986.

Cela provient bien évidemment de différences dans les pluviométries de ces 2 années entre les diverses zones, l'hivernage 1985 ayant été supérieur de 20 % à la moyenne 1953-1985, dans le sud burkinabè.

En définitive, la baisse des niveaux de nappes intervenue depuis les années 1970, et liée au déficit pluviométrique, n'est pas douteuse globalement ; elle est également confirmée par le tableau n° 3 du présent rapport.

Actuellement, la prudence recommande de tenir compte de cette baisse interannuelle  $\Delta$  IA lors du choix de la profondeur d'installation des pompes ; il faudra sans doute reconsidérer le problème si, comme on ne peut que le souhaiter, la pluviométrie des prochaines années redevenait normale.



Simulations des niveaux piézométriques des stations

Profondeurs en mètres par rapport au sol

— niveaux observés    - - - - niveaux simulés

### 2.5.2. Fluctuation saisonnière $\Delta$ NS

Les fluctuations saisonnières : remontée du niveau liée à la recharge en saison des pluies, tarissement normal (différent de la baisse interannuelle ci-dessus évoquée) en saison sèche, se produisent tous les ans, même en période de pluviosité déficitaire, comme le confirment tous les relevés disponibles (fig. 4 et 5).

On sait, depuis les études du bassin versant expérimental de Korhogo, en Côte d'Ivoire, dans les années 60, que ces fluctuations saisonnières du niveau des nappes, indépendamment de toute exploitation, sont d'autant plus faibles et décalées dans le temps que la nappe est profonde.

La figure 6 (page 40) rassemble une vingtaine de données récentes relatives :

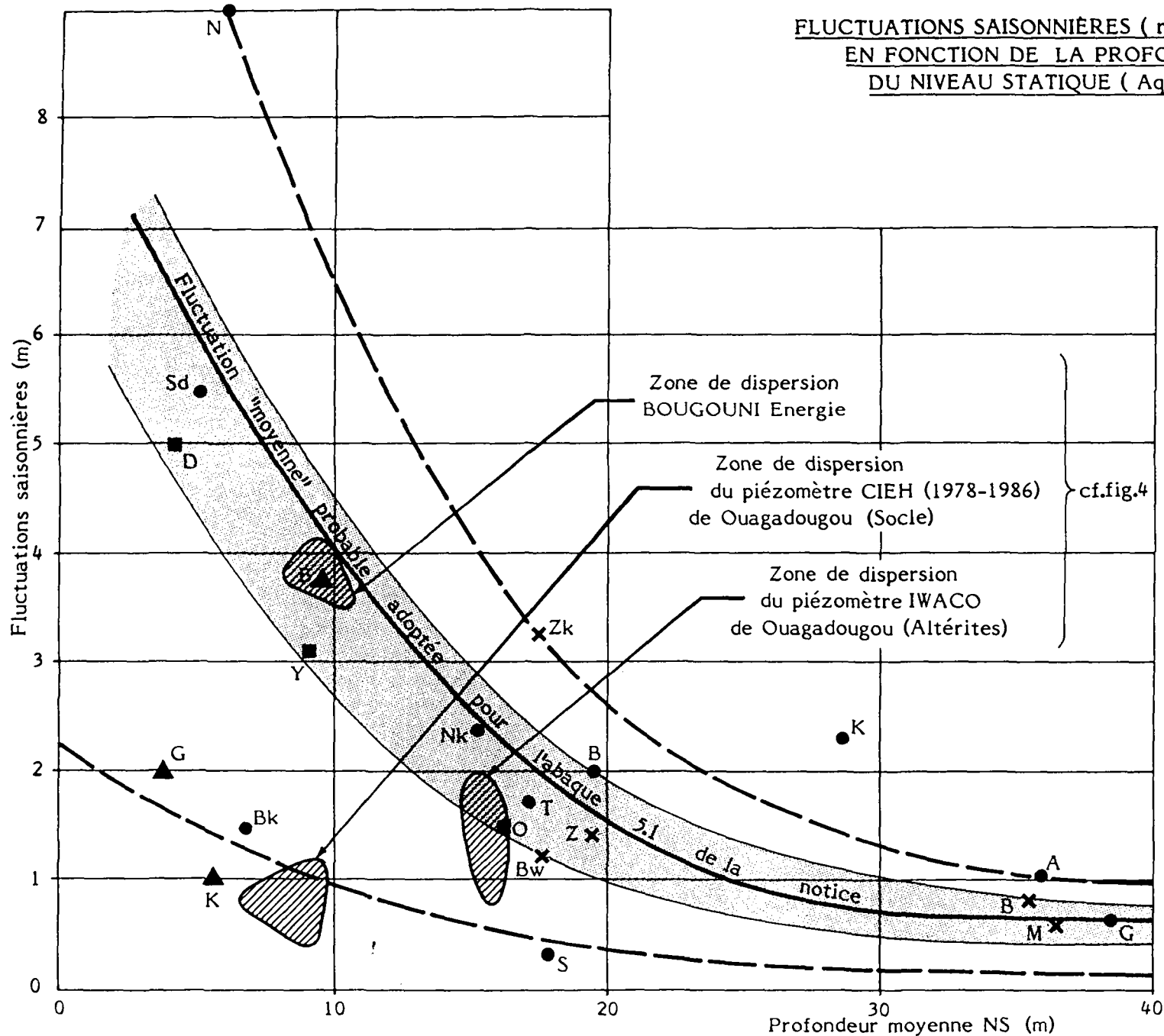
- aux 10 piézomètres installés au Burkina Faso par le B.R.G.M., dans le cadre de l'étude déjà citée sur la recharge des nappes,
- à 5 forages non exploités suivis par le projet "Yatenga" en 1986,
- à 6 piézomètres d'autres origines (CIEH et IWACO au Burkina Faso, HELVETAS au Mali).

Cette dernière figure N° 6 est, au stade actuel des connaissances, strictement indicative, en effet :

- a) L'importance de la remontée en saison des pluies pour un niveau statique moyen donné, dépend évidemment de l'importance de la pluie de l'année : cela est très net sur les relevés de longue durée (CIEH et IWACO à Ouagadougou, HELVETAS à Bougouni) dont on a reporté sur la figure 6 l'"aire de dispersion" des mesures connues pour diverses années.
- b) La position géomorphologique du point d'eau (que l'on ne connaît pas dans tous les cas étudiés) joue également un rôle certain : en particulier, à profondeur moyenne équivalente, les niveaux statiques proches du sol pour des forages situés dans les bas-fonds, varient moins fortement que dans des forages situés sur les versants.

Ces réserves étant faites, on peut conclure que - pour une profondeur moyenne donnée de niveau "statique" - les fluctuations saisonnières doivent se situer approximativement, dans les "fourchettes" données au tableau n° 4, selon la pluviométrie de l'année considérée.

**FLUCTUATIONS SAISONNIÈRES ( remontées ) OBSERVÉES  
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR MOYENNE  
DU NIVEAU STATIQUE ( Aquifères de socle )**



\*K : Proche d'un écoulement ou d'un marigot

✕ Projet YATENGA 1986 (Burkina)

- B : Bouri
- Bw : Banwela
- M : Mantaka
- Z : Ziré
- Zk : Zonkalga

● BRGM 1985 (86 BFA 177)

- A : Aribinda
- G : Gorom Gorom
- \*K : Katchari
- \*Bk : Basseko
- S : Silmissin
- \*B : Barogo
- T : Tibou
- \*Sd : Sideradougou
- Nk : Niangoloko
- N : Nafona

▲ HELVETAS (Mali) 1983

- B : Bougouni (Energie)
- K : Kolasokoura
- G : Goralo

■ IWACO (Burkina Faso) 1983

- Y : Yako
- D : Djibo
- O : Ouagadougou

FLUCTUATIONS SAISONNIERES "  $\Delta NS$ " PROBABLES

TABLEAU 4

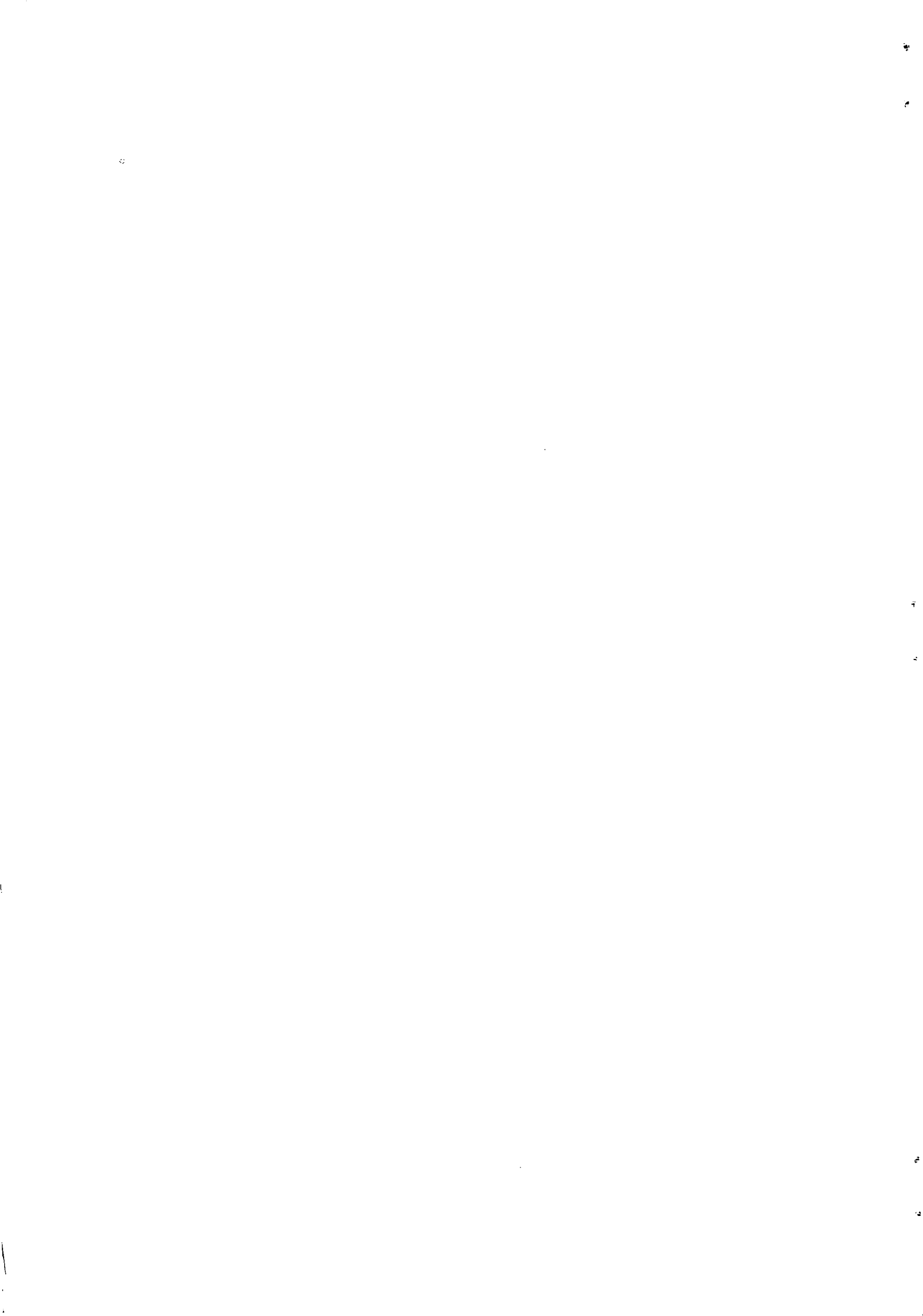
NIVEAU STATIQUE moyen (m)	FLUCTUATION SAISONNIERE		
	mini	moyen	maxi
5	1,5	6	9
10	1	4	6,5
15	0,8	2,5	4
20	0,6	1,5	2,7
30	0,3	0,6	1,3

Dans l'état actuel des connaissances, et malgré ses imperfections, un tel tableau peut servir à éviter de sous-estimer les baisses de niveau liées aux seules fluctuations saisonnières.

La courbe de fluctuation "moyenne probable" qui a été retenue pour établir l'abaque 5.1 de la notice pédagogique, est reportée sur la figure 6.

Par sécurité, cette courbe a été tracée de telle sorte que 75 % des points connus de la figure 6 soient situés au-dessous (ces points présentent donc une fluctuation saisonnière inférieure à l'estimation "moyenne" retenue).

Cette figure pourrait très utilement être améliorée, complétée et enrichie dans l'avenir, en y incorporant de nouvelles observations dans d'autres pays, reclassées si possible par hauteurs pluviométriques, par situations géomorphologiques, et par types de roches.



## DEUXIEME PARTIE

### EXPLICATIONS DETAILLEES SUR LA NOTICE

#### CHAMP D'APPLICATION ET LIMITES DE LA METHODE

La méthode normalisée ci-dessous détaillée est une méthode simplifiée, destinée aux forages villageois. Applicable avec une précision acceptable dans 85 % des cas environ, elle permet de déterminer la profondeur d'installation de pompes à énergie humaine et, pour les meilleurs forages, l'ordre de grandeur du débit maximum exploitable.

Destinée aux forages que l'on équipe le plus souvent de pompes "manuelles" relativement peu coûteuses par rapport à l'investissement que représente le forage, cette méthode comporte un essai volontairement bref, donc peu onéreux.

Mise au point, et appliquée surtout sur les aquifères de socle cristallin recouvert d'altérites noyées, elle est cependant très générale, car fondée sur l'application de la méthode classique d'interprétation de JACOB.

Elle est donc à plus forte raison, applicable aux aquifères sédimentaires à porosité d'interstices, mais on constate également dans la pratique qu'elle s'applique aux autres types d'aquifères fissurés (autres que cristallins), et notamment schisteux ou gréseux des régions anciennes tabulaires (grès infracambriens du Mali par exemple), pour peu qu'ils soient situés sous un recouvrement sableux ou sablo-argileux noyé.

Pour les ouvrages de meilleur débit (plus de 3 m<sup>3</sup>/heure au soufflage), cette méthode permet d'obtenir un ordre de grandeur du débit maximum admissible. Dans ce cas, toutefois, et notamment si l'on prévoit l'installation d'un système d'irrigation, ou de distribution pour un petit centre urbain, le recours ultérieur à des essais de débit plus prolongés, éventuellement suivis sur piézomètres, est vivement recommandé.

Signalons enfin que cette méthode, très générale, peut s'appliquer notamment avec une gamme de débits plus forte, à tous autres essais sur des forages exploitant des aquifères plus productifs que le socle ancien.
--

Elle présente alors exactement le même intérêt, qui est de déterminer les pertes de charge, l'évolution des niveaux à la fin de la saison sèche, et l'ordre de grandeur du débit maximum exploitable.



## 1. PRINCIPES DE L'ESSAI

L'essai dure 5 heures et comporte 4 phases :

- \* Un premier palier de pompage, le plus long, d'une durée obligatoire de deux heures doit impérativement être réalisé à un débit  $Q_1$  voisin de celui d'une pompe à motricité humaine : soit 0,7 à 1 m<sup>3</sup>/heure : ce palier est destiné à être extrapolé graphiquement à 8 mois, sur le diagramme semi-logarithmique, et il est impératif qu'il prenne en compte les pertes de charge les plus proches du débit réel qui sera exploité.
- \* Deux paliers, à 2 débits croissants, sont enchainés directement avec le premier, sans attendre la remontée ; d'une durée d'une heure seulement chacun, ils sont destinés uniquement, après correction, à apprécier les pertes de charge.
- \* Une phase de remontée, suivie pendant une heure, est enfin destinée à vérifier la validité de l'essai.

## 2. PRINCIPES DE L'INTERPRETATION

Fondée sur la méthode semi-logarithmique de JACOB :

La méthode suppose un aquifère captif, ce qui est le cas le plus général dans les aquifères de socle fissuré sous recouvrement d'altérites noyées. On sait que cette méthode s'applique aussi, avec une bonne approximation, aux aquifères libres si le rabattement reste faible devant l'épaisseur de l'aquifère.

Elle consiste à reporter sur un papier semi-logarithmique les rabattements "s" en fonction du logarithme du temps : les points s'alignent normalement suivant la théorie (cf. formule [ 6 ], en 1.3. de la première partie.

### 2.1. Utilisation des "rabattements spécifiques" s/Q

On travaillera sur les rabattements spécifiques s/Q : chacun des rabattements sera donc divisé par le débit contrôlé lors de sa mesure ; ceci permet de corriger les irrégularités éventuelles du débit d'essai, et permettra en outre ultérieurement (cf. 4.4.) de "linéariser" la "caractéristique" du forage.

## 2.2. Détermination du niveau à ne pas dénoyer : ND Max

La théorie implique que l'aquifère principal (le socle fissuré en général) ne soit jamais dénoyé :

- a) d'abord pendant l'essai, bien sûr, sans quoi il ne serait pas interprétable : ceci condamne les essais réalisés à trop fort débit (comme, par exemple - cas fréquemment constaté - à un débit voisin de celui obtenu au soufflage, lequel se fait à submergence maximale),
- b) ensuite, évidemment, tout au long de l'exploitation ; on détermine donc, par examen de la coupe géologique, le niveau le plus bas que pourra atteindre le niveau dynamique en pompage ND Max, sans dénoyer la zone productrice de l'ouvrage : ce sera suivant le cas, la première venue d'eau importante dans le socle, la base des altérites si elles sont captées, ou le sommet des crépines, à condition qu'elles soient disposées en bonne place.

## 2.3. Le rabattement spécifique à 8 mois : $s/Q_{8m}$

Il est obtenu par construction graphique sur le diagramme semi-logarithmique en extrapolant à 8 mois la droite qui représente sur 2 heures de rabattement spécifique  $s/Q$  en fonction du logarithme du temps lors du premier palier, réalisé, rappelons le, à un débit très proche du débit réel de la pompe que l'on veut installer.

On a vu, en première partie du présent rapport, que cette extrapolation, qui pourrait a priori paraître hasardeuse, est expérimentalement démontrée comme acceptable en pratique dans plus de 80 % des cas sur plusieurs centaines de forages, et contrôlée sur 14 forages de débit réel connu, au cours de cette étude.

Le rabattement à 8 mois ( $s_{8m}$ ) pour une exploitation limitée à 12 heures par jour s'en déduit aisément par une construction graphique simple.

Cette période de 8 mois correspond à la durée habituelle de la saison sèche dans les régions sahélo-soudaniennes arrosées par une seule saison des pluies. L'application de cette durée de 8 mois aux régions plus méridionales, qui bénéficient de 2 saisons des pluies va donc dans le sens de la sécurité (l'adaptation de la méthode à une durée de saison sèche différente serait aisée).

#### 2.4. Le niveau dynamique à 8 mois

Ce niveau, qui sera le plus bas atteint par la nappe au cours de son exploitation, et que l'on doit déterminer pour installer la pompe de telle sorte qu'elle ne dénoie jamais, est la somme de plusieurs termes :

- a) le rabattement à 8 mois ( $s_{8m}$ ), que l'essai permet de déterminer,
- b) le niveau statique d'étiage, NSE qui, hors de tout pompage, est lié au tarissement saisonnier annuel normal de la nappe  $\Delta NS$ , auquel vient s'ajouter une variation interannuelle,  $\Delta IA$ , positive en période de sécheresse, négative en période de pluviosité excédentaire,
- c) enfin, s'il existe dans le village d'autres forages exploités, il y a évidemment lieu d'ajouter les rabattements induits par chacun de ces pompages, calculés par la formule de JACOB [ 6 ] d'après la distance "r" entre les forages.

La somme de tous ces termes doit être inférieure au niveau dynamique maximum NDMax évoqué ci-dessus en 2.2.

#### 2.5. L'utilisation des paliers de débit

La réalisation des paliers est un élément essentiel de l'essai. Les rabattements  $s_2$  et  $s_3$  obtenus à la fin des deux derniers paliers de débit d'une durée de 1 heure chacun doivent d'abord être corrigés pour une durée de 2 heures ( $s_2^*$ ,  $s_3^*$ ) pour les rendre comparables au premier palier.

Les rabattements spécifiques qui s'en déduisent  $s_1/Q_1$ ,  $s_2^*/Q_2$ ,  $s_3^*/Q_3$  permettent de tracer la "caractéristique du forage" pour 2 heures de pompage.

Les trois points, reportés sur un graphique arithmétique  $s/Q$  en fonction de  $Q$ , s'alignent très généralement, ce qui met en évidence les pertes de charge proportionnelles au carré du débit.

Ces pertes de charge sont constantes pour un débit donné ; la caractéristique du forage tracée en  $s/Q = f(Q)$  est linéaire ce qui rend très aisé l'application pratique.

Ces pertes de charge ne dépendent pas du temps : c'est-à-dire que la caractéristique du forage à 8 mois sera exactement parallèle à la caractéristique à 2 heures, mais passera par le point de coordonnées  $Q_1$ , et  $s/Q_1$  8m.

La construction 4.4 sur le graphique 6 (page 3, fiche B de la notice) fournit la pente A et l'ordonnée à l'origine B de cette droite caractéristique. Cette droite permet de déterminer graphiquement :

- le rabattement à 8 mois pour tout débit choisi dans la gamme de l'essai,
- le débit d'exploitation pour tout rabattement fixé à l'avance,
- enfin l'ordre de grandeur du débit maximum admissible, en se fixant le rabattement maximum à ne pas dépasser.

L'équation de la droite caractéristique à 8 mois se déduit de la construction graphique et s'écrit :

$$s/Q = A.Q + B \text{ ou encore } s = A.Q^2 + B.Q$$

Cette formule permet d'effectuer tout calcul, et accessoirement de vérifier si la construction graphique a été bien faite.

### 3. CONDUITE DE L'ESSAI

#### 3.1. Avant l'essai

3.1.1. Cette partie de la méthode ne réclame pas de commentaire particulier, étant supposé que l'utilisateur de la plaquette est déjà familiarisé avec la pratique des mesures hydrogéologiques.

Il est insisté sur la nécessité de bien noter sur la fiche, avant l'essai, tous les paramètres essentiels pour le situer dans l'espace et dans le temps, et permettre l'interprétation ultérieure : nom, date, profondeur, hauteur et nature du repère.

#### 3.1.2. Détermination des débits de l'essai

\* Si le forage donne moins de 1 m<sup>3</sup>/heure en soufflage, (ce qui est le cas, suivant les zones, pour 10 à 70 % des ouvrages positifs) on ne peut évidemment envisager de faire plusieurs paliers ; on réalisera donc un seul palier de pompage continu que l'on maintiendra pendant 4 heures au débit le plus voisin possible de 0,7 m<sup>3</sup>/heure qui est autorisé par l'ouvrage.

\* Si le forage a fourni en soufflage entre 1 et 2 m<sup>3</sup>/heure, on se contentera de réaliser 2 paliers seulement, de 2 heures chacun, le premier toujours à débit voisin de 0,7 à 1 m<sup>3</sup>/heure, le second, selon les possibilités, voisin de 1,5 à 2 m<sup>3</sup>/heure.

Nota : on fera attention, dans ce cas, à la formule du rabattement corrigé  $s_2^*$  qui s'écrit alors différemment :  $s_2^* = s_2 - 0,3.d.Q_1$  ( voir 4.4.1. )

\* Si le forage a donné au soufflage un débit supérieur à 3 m<sup>3</sup>/heure, ce qui peut représenter 10 à 50 % des cas selon les régions.

Il faut absolument résister à la tentation de "forcer" sur le débit du premier palier, qui doit toujours être de 0,7 à 1 m<sup>3</sup>/h.

Les deux paliers suivants doivent être calculés pour répartir uniformément les trois débits de l'essai dans la gamme présumée de capacité connue du forage :

le débit obtenu en soufflage étant très fréquemment optimiste, on choisira d'abord le débit du 3e palier en adoptant :

$$Q_3 = 0,7.Q \text{ soufflage}$$

puis l'on calculera le débit du 2e palier tel que :

$$Q_2 = (Q_1 + Q_3)/2$$

### 3.2. Pendant l'essai

On veillera seulement à bien noter les mesures, à bien mesurer les débits quelques instants après chaque mesure de niveau, à ne pas "tripoter" inutilement la vanne de réglage sous prétexte de mieux ajuster le débit.

---

#### 4. CONDUITE DE L'INTERPRETATION

##### 4.1. Travaux préliminaires

On effectuera tous les calculs sur le tableau des mesures de la fiche A, et l'on remplira avec soin les parties 1, 2 et 3 de la fiche B.

##### 4.2. Construction de la courbe d'essai-exploitation

4.2.1. Le report des points  $s/Q$  en fonction du log du temps pour le premier palier, ne présente pas de difficultés, sinon le choix de l'échelle verticale, qui doit permettre l'extrapolation à 8 mois sans sortir du graphe ; si cela se produit, on n'hésitera pas à recommencer le graphique en choisissant une échelle plus adaptée.

Le tracé de la droite de JACOB est plus délicat :

a) On s'assurera tout d'abord que les points ne se situent pas sur une courbe à concavité forte vers le haut (cas type 3, page 21) auquel cas la méthode ne s'appliquerait pas, et l'exploitabilité du forage serait très douteuse.

Dans tous les autres cas :

b) On ne se servira pas, pour le tracé de la droite (sauf après avoir effectué la correction explicitée dans la notice en 6.2), des points de mesure antérieurs à 10 minutes.

c) On choisira toujours la droite de pente la plus forte, afin de ne pas risquer de sous-estimer les rabattements (pour les cas qui peuvent se présenter, on se reportera à la première partie du présent rapport, paragraphe 2.1 et figure 2, page 18).

d) La théorie des pompages cycliques montre que les rabattements à la fin de chacun des cycles de pompage d'une durée de 12 heures s'accroissent suivant une droite de JACOB correspondant à un pompage continu de débit  $Q/2$ .

La droite tracée pour le premier palier sera donc prolongée, au-delà de la droite X d'abscisse 12 heures, jusqu'à la verticale Y (point b de l'exemple), puis on tracera une parallèle à l'axe des temps pour lire enfin l'ordonnée  $s/Q_8m$  à 8 mois sur la verticale Z (1).

---

(1) Y est à mi-distance des droites X et Z.

On notera que la droite qui joint le point a à 12 heures (fin du premier cycle de pompage) au point c, fin du dernier cycle, le 240e jour d'exploitation, est l'enveloppe des "points bas" du rabattement à la fin de chaque cycle journalier.

4.2.2. Une simple multiplication de  $s/Q_{8m}$  par  $Q_1$  fournit le rabattement à 8 mois,  $s_{8m}$  d'un pompage cyclique, 12 heures par jour, au débit  $Q_1$ .

4.2.3. La pente "d" de la droite tracée, que l'on mesure graphiquement entre 10 et 100 minutes, est liée à la transmissivité "équivalente" de l'aquifère.

Cette transmissivité ne sert pas dans l'interprétation de cette méthode simplifiée, mais on peut la calculer utilement (en se reportant au paragraphe 6.3 de la notice, Annexe 4), car elle permet de comparer les ouvrages.

#### 4.3. Rabattement maximum admissible $s_{Max}$

Le rabattement maximum admissible  $s_{Max}$  résulte de la différence entre le niveau dynamique maximum admissible  $ND_{Max}$  déterminé en 4.1, et explicité en 2.2, et le niveau statique probable d'étiage  $NS_E$ , que l'on déduit du niveau statique  $NS$  à la date de l'essai, en lui ajoutant une baisse saisonnière probable  $\Delta NS$  déterminée empiriquement à l'aide de l'abaque figurant en 5 sur la notice, Annexe 4.

$$s_{Max} = ND_{Max} - NS - \Delta NS$$

#### 4.4. Etablissement de la caractéristique

##### 4.4.1. Calcul des rabattements corrigés $s_2^*$ et $s_3^*$

Les 3 paliers de débit de l'essai fournissent 3 couples de débit-rabattement. Encore faut-il faire des corrections de temps et de rabattement puisque les 3 paliers sont enchainés, et que chacun d'eux a une influence sur les rabattements des paliers suivants.

La correction à effectuer vise, sur les 2e et 3e paliers qui n'ont duré qu'une heure, à les ramener à 2 heures, et à annuler pour chacun les effets du ou des paliers antérieurs.

Très généralement, si l'on pose :

$t_1$  = durée du premier palier

$t_2$  = durée du premier + deuxième palier

$t_3$  = durée du premier + deuxième + troisième palier

$s_1$  = rabattement à la fin du 1er palier de débit  $Q_1$

$s_2$  = rabattement à la fin du 2ème palier de débit  $Q_2$

$s_3$  = rabattement à la fin du 3ème palier de débit  $Q_3$

$s_2^*$  = rabattement que l'on aurait obtenu si l'on avait pompé, dans la nappe au repos, au débit  $Q_2$ , pendant une durée  $t_1$

$s_3^*$  = rabattement que l'on aurait obtenu si l'on avait pompé, dans la nappe au repos, au débit  $Q_3$ , pendant une durée  $t_1$

$J_1, J_2, J_3$ , pertes de charge anormales aux débits  $Q_1, Q_2, Q_3$

$$a = 2,25 Tt/r^2S$$

et

$$d = 0,183/T$$

On peut écrire, par application du principe de superposition des écoulements :

$$s_1 = d.Q_1.\log at_1 + J_1$$

$$s_2 = d.Q_1.\log at_2 + d(Q_2-Q_1).\log a (t_2-t_1) + J_2$$

$$s_3 = d.Q_1.\log at_3 + d(Q_2-Q_1).\log a(t_3-t_1) + d(Q_3-Q_2).\log a(t_3-t_2) + J_3$$

$$s_2^* = d.Q_2.\log at_1 + J_2$$

$$s_3^* = d.Q_3.\log at_1 + J_3$$

si l'on considère que  $J_2$  et  $J_3$  ne dépendent que du débit, on peut résoudre le système, et il vient les formules suivantes :

$$s_2^* = s_2 + d \left[ Q_2 \log \frac{t_1}{t_2 - t_1} - Q_1 \log \frac{t_2}{t_2 - t_1} \right]$$

et aussi :

$$s_3^* = s_3 + d \left[ Q_3 \log \frac{t_1}{t_3 - t_2} - Q_2 \log \frac{t_3 - t_1}{t_2 - t_1} - Q_3 \log \frac{t_3}{t_3 - t_1} \right]$$



Ces formules générales permettent de calculer les rabattements corrigés pour toutes les durées ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ) de paliers souhaitées.

En particulier, pour les essais normalisés dans la présente méthode, où l'on a  $t_1 = 2$  heures,  $t_2 = 3$  heures,  $t_3 = 4$  heures, on calcule aisément que :

$$s_2^* = s_2 + d (0,3 Q_2 - 0,48 Q_1)$$

$$s_3^* = s_3 + 0,3 d (Q_3 - Q_2 - Q_1)$$

De même, lorsque l'on ne réalise que deux paliers de 2 heures chacun,  $t_1 = 2$  heures,  $t_2 = 4$  heures et  $s_2^*$  s'écrit alors :

$$s_2^* = s_2 - 0,3 d . Q_1$$

4.4.2. Une fois ces corrections effectuées et les valeurs corrigées de  $s$  et de  $s^*/Q$  reportées en 3 de la fiche B, il est possible de reporter sur le graphique caractéristique 6, fiche B, les 3 couples  $s^*/Q$  en fonction de  $Q$ .

4.4.3. Ces trois points s'alignent généralement sur une droite qui monte vers les débits croissants, droite dont on détermine la pente  $A$ , par la formule :

$$A = (s_3^*/Q_3 - s_1/Q_1) / (Q_3 - Q_1)$$

4.4.4. La parallèle à cette droite, tracée par le point de coordonnées  $Q_1$  et  $s_{8m}/Q_1$ , est la caractéristique à 8 mois, dont on détermine graphiquement (4.4.5. de la notice) l'ordonnée à l'origine  $B$ , valeur  $s/Q$  du point où elle coupe l'axe des rabattements spécifiques.

#### 4.5. Positionnement de la pompe

4.5.1. Le débit  $Q_e$  de la pompe choisie pour équiper le forage (et dont on a admis qu'elle ne fonctionnerait que 12 heures par jour) est alors placé sur l'axe des  $Q$ , on lit sur la caractéristique à 8 mois le  $S/Q$  à 8 mois correspondant, d'où l'on déduit le rabattement  $s_{8m}$  pour ce débit.

- 4.5.2. Le niveau dynamique ND à 8 mois s'obtient enfin en additionnant le rabattement  $s_{8m}$  à 8 mois au NSE (niveau statique d'étiage) calculé par ailleurs en 4.3.
- 4.5.3. La pompe sera placée en-dessous de ce niveau dynamique calculé, en prenant, si on l'estime nécessaire, une marge supplémentaire  $\Delta IA$  pour tenir compte d'une éventuelle baisse interannuelle du niveau de la nappe.

#### 4.6. Jonction d'un contre-puits

Ce cas, non explicité dans la notice pédagogique, est également très simple à traiter à partir de la droite caractéristique à 8 mois.

Si la nappe est suffisamment ascendante, et si les conditions locales conduisent à envisager d'exploiter ce forage par un contre-puits creusé à côté, il faut déterminer la cote de jonction entre forage et puits, qui conditionnera le débit exploitable sans tarissement.

On se fixera donc le débit que l'on souhaite exploiter 12 heures par jour sur ce puits, en tenant compte de son effet de capacité.

Cette valeur de débit, reportée comme expliqué en 4.5.1. sur le graphique de la courbe caractéristique, donne le rabattement à 8 mois ; on y ajoutera de même les fluctuations prévisibles annuelles et interannuelles, pour déterminer la profondeur à laquelle réaliser la jonction, donc la profondeur du contrepuits nécessaire.

## 5. ESTIMATION DE LA BAISSSE SAISONNIERE

L'abaque fourni en partie 5 de la notice (Annexe 4) a été établi empiriquement comme il est expliqué au paragraphe 2.5. de la première partie de ce rapport.

Cet abaque fournit, en fonction de la date de l'essai, (qui peut intervenir n'importe quand dans la saison sèche), et du niveau statique noté à ce moment, une estimation de la baisse  $\Delta NS$  restant à intervenir avant l'hivernage.

L'estimation faite à partir de cet abaque a, nous l'avons vu, 75 % de chances d'être supérieure à la réalité, c'est-à-dire qu'elle va dans le sens de la sécurité et du non-dénoyage de la pompe.

On notera ici que la baisse saisonnière, qui est un tarissement, a normalement plutôt la forme d'une exponentielle décroissante, alors qu'elle a été linéarisée dans l'abaque présenté sur la notice.

Cette linéarisation qui en simplifie l'emploi, va aussi dans le sens de la sécurité.

## 6. REMARQUES ADDITIONNELLES

Les points 6.1 à 6.3 de la notice n'appellent aucun autre commentaire.

### 6.4. Interprétation de la remontée

L'interprétation de la remontée est utile pour vérifier le comportement hydraulique de l'ouvrage et la qualité de l'essai : théoriquement, la pente de la droite de remontée doit être identique à la pente de la droite de descente.

L'essai ayant été fait à 3 débits différents, l'interprétation peut être conduite de 2 façons distinctes :

**6.4.1. La méthode la plus rigoureuse consiste :**

- a) A calculer le "temps de pompage fictif"  $t^*$  qui aurait été nécessaire, au débit  $Q_3$ , pour extraire de l'aquifère le même volume d'eau que l'ensemble des trois paliers :

$$t^* \text{ (en heures)} = (Q_3 + Q_2 + 2Q_1)/Q_3$$

- b) Puis à se servir de cette valeur  $t^*$  pour calculer les valeurs successives du "temps compensé", selon la méthode habituelle de JACOB, soit en posant  $t_r$  = temps de remontée :

$$\text{"temps compensé"} = (t_r + t^*) / t_r$$

- c) Enfin, à reporter les rabattements spécifiques de la remontée (calculés en divisant les rabattements résiduels par  $Q_3$ , débit du dernier palier) en fonction des valeurs calculées du temps réduit.

**6.4.2. Une méthode plus simple, approchée mais satisfaisante**

Consiste à considérer que l'évolution du rabattement à la fin du dernier palier est faible, et à la négliger.

On considère alors le dernier niveau dynamique atteint dans le palier  $Q_3$  (45,54 dans l'exemple de la notice) comme un niveau statique, et l'on calcule les rabattements à partir de ce niveau pour un pompage "inverse" de débit ( $- Q_3$ ).

Il vient ainsi, dans l'exemple de la notice ( $Q_3 = 3,27$ ) :

t	Niveau	Rabatt.	s/ $Q_3$
0	45,54 = "NS"	0	0
5 min	23,47	22,07	6,75
10 min	21,33	24,21	7,40
20 min	18,67	26,87	8,20, etc

Le lecteur pourra poursuivre les calculs et vérifier lui-même en les reportant sur le graphe 4 de la fiche B de l'exemple, aux temps correspondants de 5, 10, 20 minutes, etc., que ces points s'alignent bien sur une droite parallèle à la droite de JACOB correspondant au pompage du premier palier.

## ANNEXES

- |                 |  |
|-----------------|--|
| <u>ANNEXE 1</u> | CALCUL ANALYTIQUE DES POINTS BAS ET DES<br>POINTS HAUTS LORS DE POMPAGES CYCLIQUES |
| <u>ANNEXE 2</u> | EXEMPLE : BONSOMNORE 3   |
| <u>ANNEXE 3</u> | MODELE BICOUCHE REALISE  |
| <u>ANNEXE 4</u> | NOTICE PÉDAGOGIQUE (PLAQUETTE)   |

ANNEXE 1

CALCUL ANALYTIQUE DES POINTS BAS

ET DES POINTS HAUTS

LORS DE POMPAGES CYCLIQUES

CALCUL ANALYTIQUE DES POINTS BAS  
ET DES POINTS HAUTS  
LORS DE POMPAGES CYCLIQUES

Considérons, dans une nappe homogène continue, l'hypothèse d'une utilisation cyclique d'un forage suivant un rythme journalier de  $t_0$  heures de pompage à un débit constant  $Q$ , suivies de  $(24 - t_0)$  heures de repos.

Dans les conditions d'utilisation de la formule de JACOB, le rabattement  $s$  de la nappe à un instant  $t$  du pompage s'écrit :

$$s = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25.T.t}{x^2.S}$$

formule dans laquelle  $T$  est la transmissivité,  $S$  le coefficient d'emmagasinement, et  $x$  la distance d'observation par rapport au forage.

En posant  $A = 0,183 Q/T$  et  $B = 2,25 T/x^2.S$

On peut écrire :  $s = A \log Bt$

### 1. PREMIER CYCLE

Pour tout ce qui suit, on admet que chaque cycle quotidien se compose d'un pompage de durée  $t_0$ , exprimée en heures, et d'une remontée de durée  $(24 - t_0)$  ; on posera également  $p = t_0/24$ .

#### 1.1. Premier point bas $B_1$

Le rabattement  $s_0$  après 1 heure de pompage s'écrit :

$s_0 = A \log B$ , en considérant l'heure comme unité de temps.

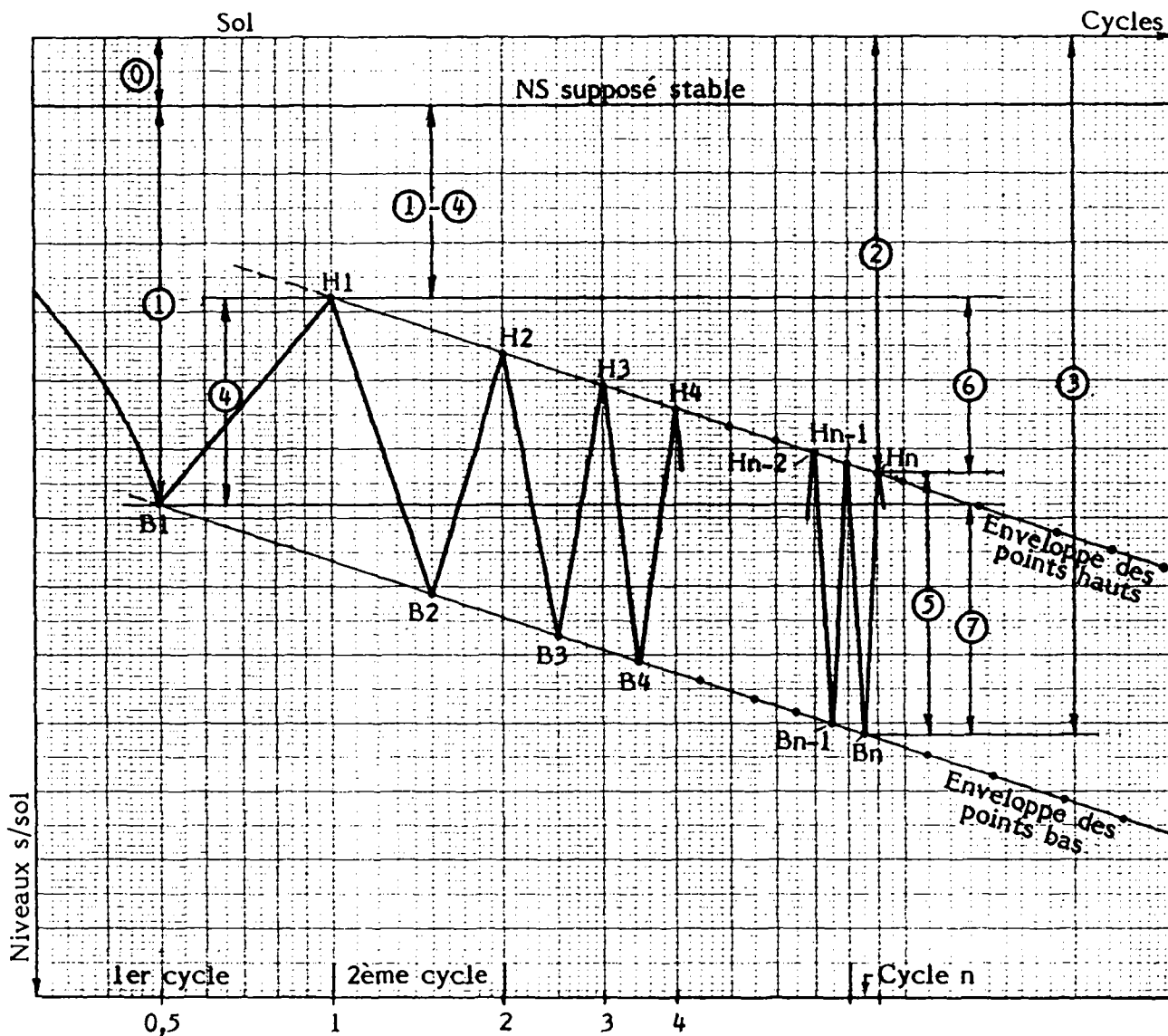
Le rabattement  $s_{t_0}$  après  $t_0$  heures de pompage, à la fin de la période de pompage du premier cycle correspond au premier point bas, ( $B_1$ ) et s'écrit :

$$\begin{aligned} (B_1) = s_{t_0} &= A \log Bt_0 \\ &= A \log B + A \log t_0 \\ &= s_0 + A \log t_0 \end{aligned}$$

Figure 7

POMPAGES CYCLIQUES

7a Schéma de notations



7b Exemple de résultats issus du modèle PCYCL 1

POMPAGE CYCLIQUE --- FORAGE DE:50NSCMNORE 3 (cf. annexe 2)

TEMPS DE POMPAGE (h)	:	12
NOMBRE DE JOURS	:	240
DEBIT DE POMPAGE	:	.61
TRANSMISSIVITE	:	.300024
① NIVEAU STATIQUE INITIAL	:	15.25
RAYON DU FORAGE (m)	:	.08
COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT	:	.004
RABATTEMENT APRES 1h DE POMPAGE	:	5.01
① RABATTEMENT A LA FIN DU PREMIER CYCLE DE POMPAGE	:	6.41
② POINT HAUT FINAL	:	17.15 m
③ POINT BAS FINAL	:	23.30 m
④ DELTA INITIAL (entre HAUT et BAS)	:	6.92 m
⑤ DELTA FINAL (entre HAUT et BAS)	:	6.15 m
⑥ DERIVE DES POINTS HAUTS	:	1.47 m
⑦ DERIVE NIVEAU DYNAMIQUE	:	1.61 m

Les fluctuations saisonnières ( $\Delta NS$ ) et interannuelles ( $\Delta IA$ )  
s'ajoutent algébriquement aux points  $B_n$  et  $H_n$



## 1.2. Premier point haut H<sub>1</sub>

Pour calculer le rabattement résiduel à la fin de la remontée du premier cycle, on applique le principe de superposition ; la nappe gardant "en mémoire" les opérations qu'elle subit, à la fin de la première journée, elle aura réagi comme si on y avait effectué simultanément :

- un pompage de débit Q, continu pendant 24 heures :

$$s_1 = s_0 + A \log 24$$

- une injection de débit - Q pendant (24 - t<sub>0</sub>), démarrant à l'instant même où le pompage s'arrête. Le relèvement correspondant s'écrit de même :

$$r_1 = A \log B (24 - t_0) = -s_0 - A \log (24 - t_0)$$

Le rabattement résiduel (point haut) H<sub>1</sub> à la fin des premières 24 heures, sera donc :

$$H_1 = s_1 + r_1 = A (\log 24 - \log (24 - t_0)) = A \log \frac{24}{24 - t_0}$$

$$\text{ou encore } H_1 = A \log \frac{1}{(1-p)} \quad (\text{avec } p = t_0/24)$$

## 2. CALCUL DES POINTS BAS D'ORDRE n

Rappelons que le premier point bas s'écrit (cf. 1.1.) :

$$B_1 = s_0 + A \log t_0 = s_0 + A \log 24 p = s_{t_0}$$

### 2.1. Deuxième cycle

Pour obtenir le rabattement au point bas B<sub>2</sub>, à la fin du 2ème cycle, il faut rajouter à B<sub>1</sub> un rabattement supplémentaire S<sub>2</sub> qui résulte de la superposition :

- d'une injection pendant 24 heures : r<sub>2</sub> = -s<sub>0</sub> - A log 24

- d'un pompage pendant (24 + t<sub>0</sub>) heures :  
s<sub>2</sub> = s<sub>0</sub> + A log (24 + t<sub>0</sub>)

$$\text{D'où } S_2 = r_2 + s_2 = A \log \frac{24 + t_0}{24} = A \log \frac{p + 1}{1}$$

et le second point bas s'écrit :

$$(B_2) = B_1 + S_2 = s_{t_0} + A \log \frac{p + 1}{1}$$

## 2.2. Cycle d'ordre n

Par récurrence, le nième point bas s'écrit :

$$B_n = B_1 + S_2 + S_3 \dots + S_n \text{ ou encore}$$

$$B_n = st_0 + A \log \frac{(n-1+p) \cdot (n-2+p) \dots (1+p)}{(n-1)!}$$

## 3. CALCUL DES POINTS HAUTS D'ORDRE n

### 3.1. Point haut du deuxième cycle

Au cours du 2ème cycle, s'ajoute à  $H_1$  un accroissement de rabattement  $S'_2$ , qui résulte de la superposition de 2 opérations :

- pompage pendant  $2 \times 24$  heures :  $s'_2 = A \log (2.24)$

- injection pendant  $(2 \times 24) - t_0$  :  $r'_2 = - A \log ((2.24) - t_0)$

$$\text{D'où } S'_2 = s'_2 + r'_2 = A \log 2 / (2-p)$$

et le rabattement résiduel (point haut) à la fin du 2ème cycle s'écrit :

$$H_2 = H_1 + S'_2 = A \left( \log \frac{1}{(1-p)} + \log \frac{2}{(2-p)} \right)$$

soit

$$H_2 = A \log \frac{(1.2)}{(1-p) \cdot (2-p)}$$

### 3.2. Point haut d'ordre n

Par récurrence, le rabattement résiduel (point haut) à la fin du nième cycle s'écrit :

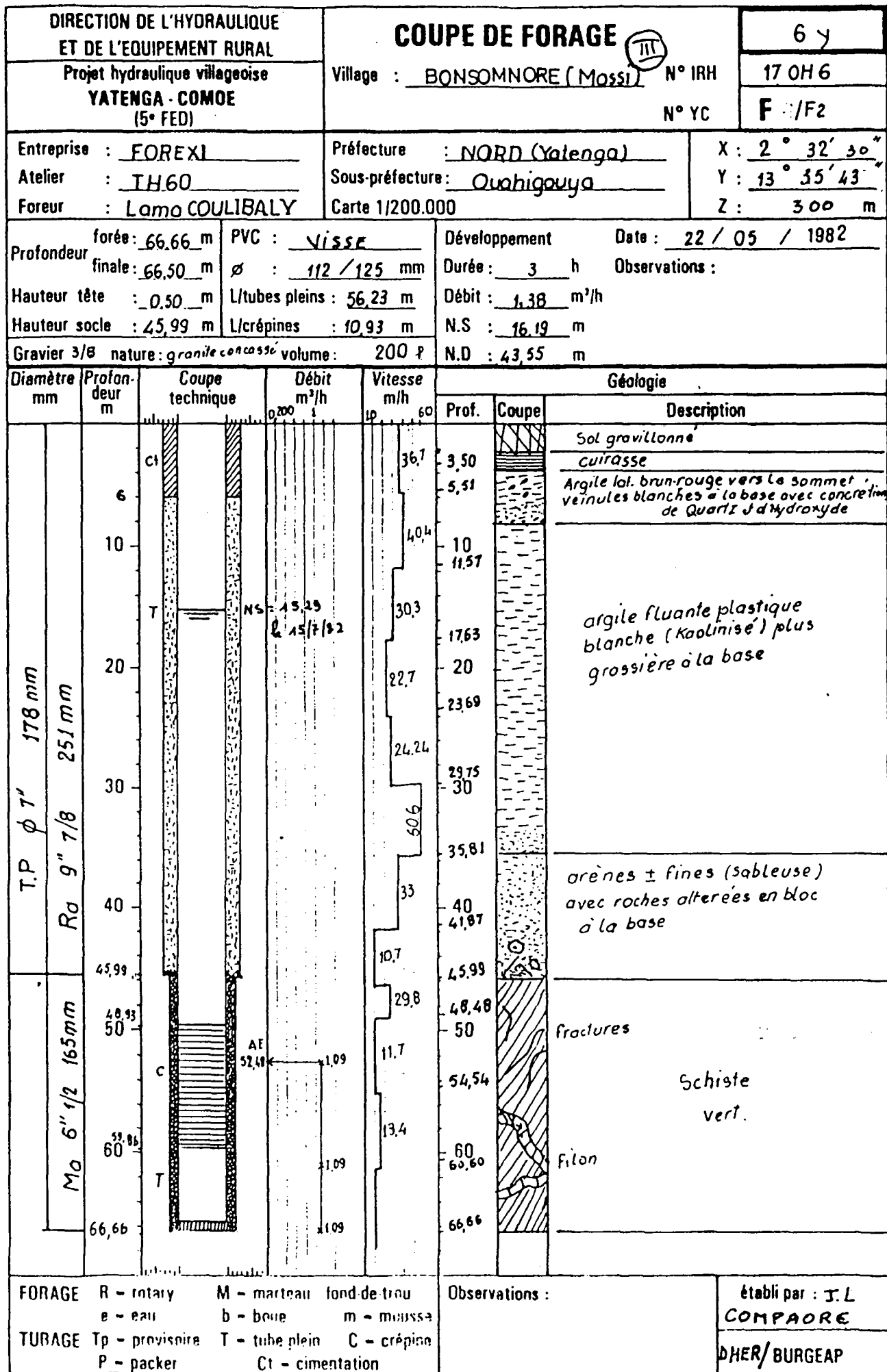
$$H_n = H_1 + S'_2 + S'_3 \dots + S'_n$$

$$H_n = A \log \frac{n!}{(1-p) \cdot (2-p) \dots (n-p)}$$

ANNEXE 2

EXEMPLE BONSOMNORE 3

- 2.1. Coupe géologique et technique
- 2.2. Essai de pompage par palier
- 2.3. Interprétation JACOB initiale
- 2.4., 2.5., 2.6. : Relevés des compteurs de débit
- 2.7. Contrôle de terrain juin 87
- 2.8. Essai de débit de contrôle (30 minutes) juin 87



OFFICE NATIONAL DES PUIITS ET FORAGES	Fiche de Pompage d'Essai	
PROJET HYDRAULIQUE VILLAGEOISE YATENGA COMOE - 5e FED	Village : Bossamnoré Mossi	6 / F2
s/PROJET : YATENGA	Sous Préfecture ouohigouya	

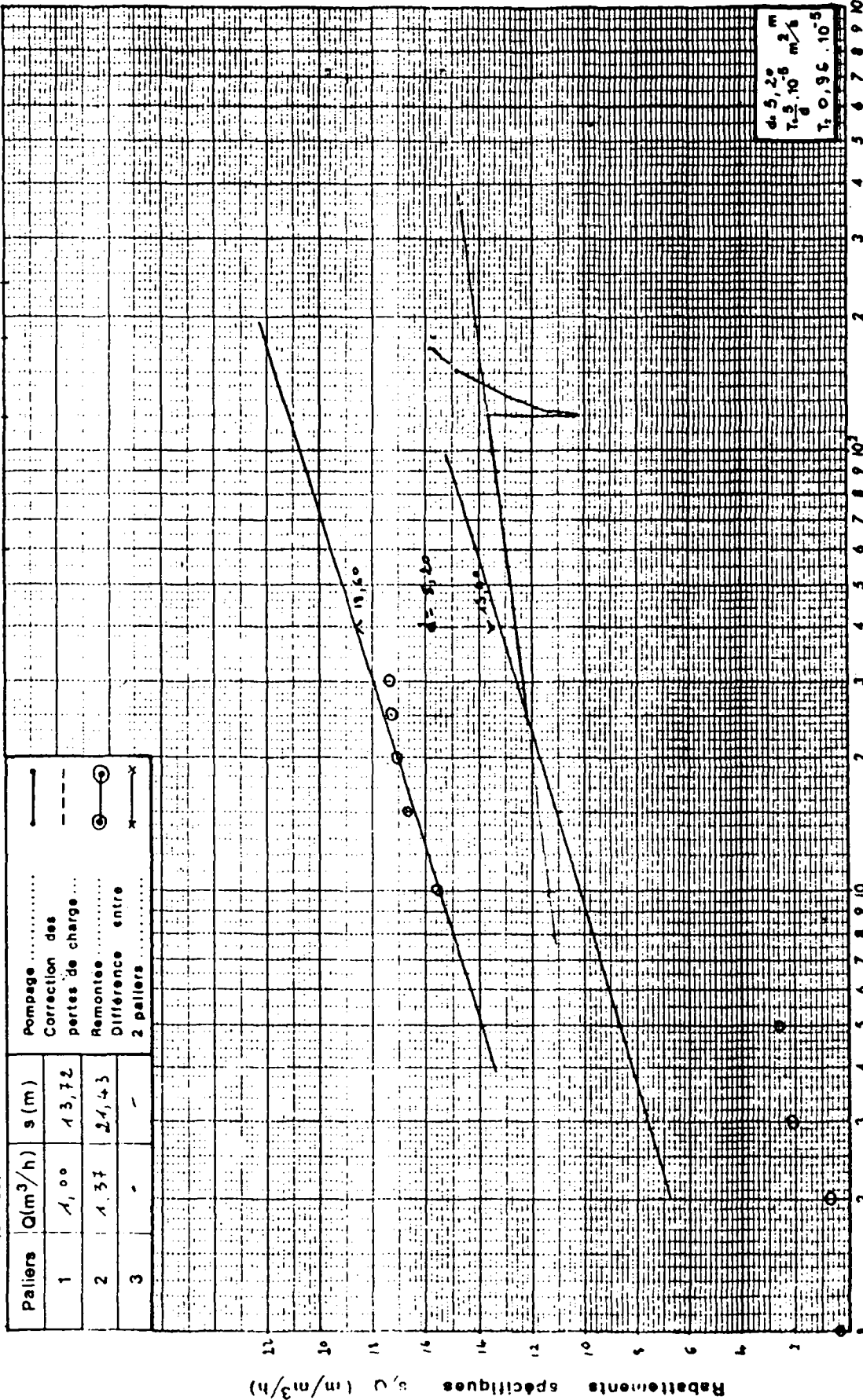
Ouvrage de pompage : Type forage ou puits  
 Profondeur : 66,08  $\phi$  112/125 mm N.S. .... 15,89  
 Origine de la mesure : Côte repère/sol en m : 0,60  
 Profondeur de la pompe 50,35  
 Type de la pompe : Réf : ..... SAHARA ..... Q max : ..... 6 m<sup>3</sup>/h à 60 m

Dates	Heures	Temps en mn	Niveaux en m	Rabattement S(m)	Débit Q m <sup>3</sup> /h	Rabat.SPE. S/Q	Obs.
15-7-82	13 <sup>H</sup> 52	0	21,50	5,61			ouverture vanne
		1	22,35	6,46	1,00		
		2	23,00	7,11	1,00	7,11	à 1'30" SE/18s
		3	23,60	7,71	"	7,71	
		5	24,55	8,66	"	8,66	eau claire
		10	26,10	10,21	"	10,21	à 5' SE/18s
		15	26,80	10,91	"	10,91	à 9' SE/18s
		20	27,62	11,73	"	11,73	eau claire
		25	28,10	12,21	"	12,21	SE/18s
		30	28,25	12,36	"	12,36	à 31' SE/18s
		40	28,60	12,71	"	12,71	eau claire
		50	28,75	12,86	"	12,86	à 47' SE/18s
		60	28,93	13,04	"	13,04	à 65' SE/18s
		75	29,05	13,16	"	13,16	à 80' SE/18s
		90	29,15	13,26	"	13,26	
		105	29,40	13,51	"	13,51	à 116' SE/18s
		120	29,61	13,72	"	13,72	eau claire
		121	30,10	14,21	1,33	10,37	ouverture vanne à 120'30" SE/13,5s
		122	30,62	14,73	1,33	10,75	ouverture à 122'30"
		123	31,37	15,48	1,37	11,30	123' SE/13,1s
		125	32,20	16,31	1,37	11,90	
		130	33,10	17,21	1,37	12,56	

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE  
 ET DE L'EQUIPEMENT RURAL  
 Projet hydraulique villageois  
 YATENGA - COMOE  
 (5° FED)

Date de l'essai : 15-7-82  
 Niveau statique : 45,29  
 Fond-avant essai: 66,08  
 - après essai :

**ESSAIS SUR FORAGES**  
 Village : SOMSONNORÉ (MOOSI)  
 6  
 F 2



DHERY / BURGEAP

PROJET INT /81/026-PNUD MANQUE MONDIALE  
 VOLUME MENSUEL M3/J DEBITE PAR LA POMPE DE BOSSOMNORE III(MOSSI)  
 N° 84/12506

(PROVINCE DU YATENGA / POMPE VERGNET )

ATE	JUILLET 85	AOUT 85	SEPTEMBRE 85	OCTOBRE 85	NOVEMBRE 85	DECEMBRE 85	
1		33,9   34,5	77,8 <sup>m3</sup>   78,1 <sup>m3</sup>	(142)	00245 <sup>m3</sup>   00247 <sup>m3</sup>	365   368	
2		35,1   35,9	79,2   80,5		248   250	369   372	
3		37,2   38,3	81,1   82,3		252   254	374   378	
4		39,5   41,4	83   83,3		255   258	381 <sup>m3</sup>   508,65 <sup>m3</sup>	
5		42,9   43,8	84,2   85,3		259   261		
6		44,4   45,6	86,1   87,9		262   266		
7		46,3   47,9	88,4   89,5		267   269		
8		48,2   49,3	90,1   91,6		270   273		
9		49,8   50,4	91,9   92,3		274   277		
10		52,1   54,9	93,8   94,7		278   281		
( 11		57,1   58,3	95,   96,1		282   284		
12		59,6   60,4	96,9   97,3		285   288		
13		61,8   62,9	97,8   99,1		289   291		
14		63,6   P	101,6   102,3		293   295		
15		P   P	104,2   106,8		296   300		
16		P   P	107,1   108,3		302   304		
17	000061   1,4 <sup>m3</sup>	P   P	109   110,8		305   307		
18	2,5   3,1	P   P	111,3   112,8		308   310		
19	4,3   5,2	"   "	113,1   114,3		312   315		
20	6,1   7,4	"   "	114,8   116,1	205 <sup>m3</sup>   421,20 <sup>m3</sup>	317   318		
21	8,00   9,1	"   "	117,3   119,5	208 <sup>m3</sup>   209	319   321		
22	10,2   11,2	63 <sup>m3</sup>   749,1	121,6   123,4	210   212 <sup>m3</sup>	323   326		
23	12,4   13,8	P   P	124,5   126,8	213   215	328   331		
( 24	15,1   17,3	"   "	127,7	217   218	334   337		
25	18,2   19,1	P   65,6		219   221	339   342		
26	20,3   21,9	66,8   67,2		223   225	-   345		
27	23   24,8	69,5   70,9	Départ du détenteur de la fiche pour la rentrée des classes.		227   229	348   351	
28	25,2   26,5	71,1 <sup>m3</sup>   71,6 <sup>m3</sup>			231 <sup>m3</sup>   232 <sup>m3</sup>	352   355	
29	27,8   29,1	72,6   73,1		233   235	357   359		
30	30,4   31,2	73,7   74,8		237   239	360   363		
31	32,6   33,5	75,3   76,6	(142)	241 <sup>m3</sup>   243 <sup>m3</sup>	//////		

ooooo Date d'installation du compteur

17/07/85

21/09

-Le raccord troué fut collé.

\* Date de contrôle au compteur

22/08 / 85

/ 20/10 / 85

/ 4/12 / 85

PROJET INT/84/025 FNUD/BANQUE MONDIALE  
 VOLUME MENSUEL DEBITE PAR LA POMPE DE BOSSOMNORE III  
 EN M<sup>3</sup>/Jour N° POINT EAU 84/12506  
 CODE POMPE a /1/2/ /5/ /0/4/ /0/1/3/

DATE	JANVIER 86		FEVRIER 86		MARS 86		AVRIL 86		MAI 86		JUIN 86
1	506	1510	691	1696	908	1912	1121	1126	1370	1376	( )
2	511	1515	698	1702	913	1919	1129	1134	1378	1382	!
3	517	1522	705	1709	922	1927	1137	1142	-	1388	!
4	523	1527	711	1717	930	1936	1145	1150	1389	1394	!
5	528	1532	719	1725	940	1946	1153	1158	1397	1403	!
6	533	1537	727	1732	949	1954	1162	1166	-	1408	!
7	538	1541	735	1740	957	1961	1169	1174	1411	1417	!
8	543	1547	741	1746	963	1968	1177	1182	1417	1423	!
9	548	1551	747	1752	970	1975	1185	1189	1423m <sup>3</sup>	650;60	!
10	553	1558	753	1759	978	1984	1190	1196			!
11	559	1564	761	1766	986	1992	1198	1204			!
12	565	1570	768	1773	995	1000	1207	1213			!
13	571	1574	775	1779	1002	1008	1216	1222			!
14	575	1580	781	1786	1010	1016	1225	1231			!
15	581	1586	788	1794	1019	1024	1234	1240			!
16	587	1590	796	1802	1027	1032	1243	1249			!
17	591	1596	804	1810	1033	Panne	1252	1258			!
18	597	1602	812	1818	1035	Reparée	1261	1267			!
19	603	1608	820	1826	1037	1042	1270	1274			!
20	609	1614	828	1834	1044	-	1275	1279			!
21	615	1620	836	1843	1044m <sup>3</sup>	009,45 <sup>1</sup>	1280	1286			!
22	622	1626	845	1851	1046	1052	1291	1297			!
23	627	1633	854	1860	1054	1058	1300	1306			!
24	634	1640	863	1868	1061	1067	1310	1316			!
25	641	1646	870	1875	1070	1074	1319	1325			!
26	647	1652	880m <sup>3</sup>	413,45 <sup>1</sup>	1075	1080	1326	1330			!
27	654	1660	889	1896	1082	1087	1332	1338			!
28	661	1666	900	1905	1089	1094	1340	1346			!
29	668	1673	///	///	1097	1104	1349	1355			!
30	675	1682	///	///	1107	1113	1358	1364			1733
31	683	1688	///	///	1115	1119	///	///			///

PRISES !MATIN !SOIR !MATIN !SOIR !MATIN !SOIR !MATIN !SOIR !MATIN !SOIR !MATIN !SOIR

DATE D'INSTALLATION DU COMPTEUR : /1/7/ /0/7/ /8/5/ j m a  
 DATES DE CONTROLE DU COMPTEUR : /2/6/ /0/2/ /8/6/ /2/1/ /0/3/ /8/6/ /09/05/8 j m a j m e

OBSERVATIONS, 1) LA POMPE FONCTIONNE ET DEBITE BIEN.  
 2) Tombée en panne le 17/03/86 (boudruche) elle fut collée le lendemain mais la pompe retombe en panne le 20/03/86 au matin. Le 20/03 a soir, nouvelle boudruche fut prise (sous garantie) et montée le jour. Absence de particules. 1) La pompe fonctionne et debite bie



Projet INT/81/026. PNUD. BANQUE MONDIALE

Volume mensuel (m<sup>3</sup>/j) débité par la pompe de Bossomnoré III

Date	Juillet 86		Août		Septembre		octobre		Novembre		Decembre	
1	1733	1735	1813	1816			1933	1935	2024	2026	2145	2148
2	1736	1739	1817	1820								
3	1740	1744	1821	1824								
4	1745	1749	1825	1828					2036	2038		
5	1750	1754	-	1830							2164	2168
6	1754	1756	1831	1833			1948	1950				
7	-	1758	1834	1837					2046	2048		
8	-	1759	1838	P					2050	2052		
9	1759	1762	P	P								
10	1763	1764	P	P			1956	1958			2181	2183
11	1765	1766	P	1838								
12	-	1767	1839	1840	1880	1882					2191	
13	-	1769				1883						
14	-	1772			1884	1886						
15	-	1774	1842	1843	1887	1889	1972	1974	2085	2088		
16	-	1775			1890	1892	1975	1977				
17	1776	1777			1893	1895						
18	1778	1779	1846	1847	1896	1899						
19	1780	1781	P	P								
20	1782	1783							2103	2106		
21	1784	1786			1906	1908						
22	1787	1789										
23	1790	1791					1997	1998				
24	-	1792					1999	2000				
25	1793	1794			1916	1917			2122	2125		
26	1795	1796										
27	1797	1799										
28	-	1801										
29	1802	1804			1926	1929	2015	2017				
30	1805	1808			1930	1932			2141	2144		
31	1809	1812			///	///	2021	2023	///	///		
	Matin	soir										

Dates de contrôle : 12/09/86      1880 m<sup>3</sup> 652,80 l

12/12/86      2191 m<sup>3</sup> 078,95 l

P: Panne

- 2.7 -  
**CONTRÔLE DES FORAGES VILLAGEOIS**

① ARRIVÉE LE 15 / 06 / 97 À 15 h 55'		VILLAGE: Boussomnere' Nos:		F, N°: Illisible 9/7/82																																																																																																																																																																																																																					
② FORAGE EN : Repos <input type="checkbox"/> Pompage <input checked="" type="checkbox"/>		③ LIRE LE COMPTEUR A L'ARRIVÉE :		3495 m³ 3217 l																																																																																																																																																																																																																					
④ SI POMPAGE, TESTER IMMEDIATEMENT LE COMPTEUR PAR POMPAGE DE:		36 l		3495 m³ 3513 l																																																																																																																																																																																																																					
⑤ CORRECTION COMPTEUR : coeff.:		-21,6 %		← d'où différence = 29,6 l																																																																																																																																																																																																																					
⑥ MESURE DU N.S. PAR CONTRÔLE DE REMONTÉE :			Heure fin démontage pompe : 16 h 03'																																																																																																																																																																																																																						
to = heure d'arrêt pompage : 16 h 05'			⑦ ESSAI DE POMPAGE DE 30 MINUTES																																																																																																																																																																																																																						
Lecture compteur avant l'essai:			3495 , 3513 l																																																																																																																																																																																																																						
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>t'</th> <th>H= niveau</th> <th colspan="4">Faire les calculs immédiatement</th> </tr> <tr> <th>0'</th> <th>26,00</th> <th>H moy.</th> <th>ΔH (cm)</th> <th>Δt (min.)</th> <th>ΔH/Δt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td></td><td>25.995</td><td>1,0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1'</td><td>25.99</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.985</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2'</td><td>25.98</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.97</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3'</td><td>25.96</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.957</td><td>0,5</td><td>1</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>4'</td><td>25.955</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.947</td><td>1,5</td><td>2</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>6'</td><td>25.94</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.94</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>8'</td><td>25.94</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.925</td><td>3</td><td>2</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>10'</td><td>25.91</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.905</td><td>1</td><td>3</td><td>0,33</td></tr> <tr><td>13'</td><td>25.90</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.89</td><td>2</td><td>3</td><td>0,66</td></tr> <tr><td>16'</td><td>25.88</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>25.875</td><td>1</td><td>4</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>20'</td><td>25.87</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			t'	H= niveau	Faire les calculs immédiatement				0'	26,00	H moy.	ΔH (cm)	Δt (min.)	ΔH/Δt			25.995	1,0	1	1	1'	25.99							25.985	1	1	1	2'	25.98							25.97	2	1	2	3'	25.96							25.957	0,5	1	0,5	4'	25.955							25.947	1,5	2	0,75	6'	25.94							25.94	0	2	0	8'	25.94							25.925	3	2	1,5	10'	25.91							25.905	1	3	0,33	13'	25.90							25.89	2	3	0,66	16'	25.88							25.875	1	4	0,25	20'	25.87					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Heure</th> <th>t'</th> <th>Niveau</th> <th>Observations</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>16h 34</td><td>0</td><td>25,86</td><td>(noter le changement de personnes)</td></tr> <tr><td></td><td>1'20"</td><td>27,18</td><td>changement</td></tr> <tr><td></td><td>2'</td><td>27,52</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>2'30"</td><td>28,02</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>3'</td><td>28,80</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>4'</td><td>29,15</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>5'</td><td>29,65</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>6'</td><td>29,65</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>7'</td><td>29,65</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>8'</td><td>29,65</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>9'</td><td>29,65</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>10'</td><td>-</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>12'</td><td>29,96</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>15'</td><td>30,20</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>20'</td><td>30,55</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>25'</td><td>30,10</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>27'</td><td>29,90</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>29'</td><td>30,50</td><td>"</td></tr> <tr><td></td><td>30'</td><td>31</td><td>"</td></tr> </tbody> </table>			Heure	t'	Niveau	Observations	16h 34	0	25,86	(noter le changement de personnes)		1'20"	27,18	changement		2'	27,52	"		2'30"	28,02	"		3'	28,80	"		4'	29,15	"		5'	29,65	"		6'	29,65	"		7'	29,65	"		8'	29,65	"		9'	29,65	"		10'	-	"		12'	29,96	"		15'	30,20	"		20'	30,55	"		25'	30,10	"		27'	29,90	"		29'	30,50	"		30'	31	"
t'	H= niveau	Faire les calculs immédiatement																																																																																																																																																																																																																							
0'	26,00	H moy.	ΔH (cm)	Δt (min.)	ΔH/Δt																																																																																																																																																																																																																				
		25.995	1,0	1	1																																																																																																																																																																																																																				
1'	25.99																																																																																																																																																																																																																								
		25.985	1	1	1																																																																																																																																																																																																																				
2'	25.98																																																																																																																																																																																																																								
		25.97	2	1	2																																																																																																																																																																																																																				
3'	25.96																																																																																																																																																																																																																								
		25.957	0,5	1	0,5																																																																																																																																																																																																																				
4'	25.955																																																																																																																																																																																																																								
		25.947	1,5	2	0,75																																																																																																																																																																																																																				
6'	25.94																																																																																																																																																																																																																								
		25.94	0	2	0																																																																																																																																																																																																																				
8'	25.94																																																																																																																																																																																																																								
		25.925	3	2	1,5																																																																																																																																																																																																																				
10'	25.91																																																																																																																																																																																																																								
		25.905	1	3	0,33																																																																																																																																																																																																																				
13'	25.90																																																																																																																																																																																																																								
		25.89	2	3	0,66																																																																																																																																																																																																																				
16'	25.88																																																																																																																																																																																																																								
		25.875	1	4	0,25																																																																																																																																																																																																																				
20'	25.87																																																																																																																																																																																																																								
Heure	t'	Niveau	Observations																																																																																																																																																																																																																						
16h 34	0	25,86	(noter le changement de personnes)																																																																																																																																																																																																																						
	1'20"	27,18	changement																																																																																																																																																																																																																						
	2'	27,52	"																																																																																																																																																																																																																						
	2'30"	28,02	"																																																																																																																																																																																																																						
	3'	28,80	"																																																																																																																																																																																																																						
	4'	29,15	"																																																																																																																																																																																																																						
	5'	29,65	"																																																																																																																																																																																																																						
	6'	29,65	"																																																																																																																																																																																																																						
	7'	29,65	"																																																																																																																																																																																																																						
	8'	29,65	"																																																																																																																																																																																																																						
	9'	29,65	"																																																																																																																																																																																																																						
	10'	-	"																																																																																																																																																																																																																						
	12'	29,96	"																																																																																																																																																																																																																						
	15'	30,20	"																																																																																																																																																																																																																						
	20'	30,55	"																																																																																																																																																																																																																						
	25'	30,10	"																																																																																																																																																																																																																						
	27'	29,90	"																																																																																																																																																																																																																						
	29'	30,50	"																																																																																																																																																																																																																						
	30'	31	"																																																																																																																																																																																																																						
↑ Heure de fin : Poursuivre au verso si ΔH / Δt > 1cm / min.																																																																																																																																																																																																																									
⑧ REMONTÉE APRES POMPAGE :																																																																																																																																																																																																																									
Heure		t'	Niveau	Heure	t'	Niveau																																																																																																																																																																																																																			
17h04		0	31		4'	26,85																																																																																																																																																																																																																			
		1'	28,95		6'	26,99																																																																																																																																																																																																																			
		2'30	27,80	17h14	10'5	26,38																																																																																																																																																																																																																			
					17h04	31																																																																																																																																																																																																																			
Débit : 697,4 l/h			← 3495 m³ 700 l																																																																																																																																																																																																																						
⑨ EVALUATION DU N.S. : (feuille jointe)			T SVP																																																																																																																																																																																																																						
x - 21,6 (coeff.⑤) = Q essai : 848 l/h																																																																																																																																																																																																																									
⑩ CONTRÔLE DU N.S. LE LENDEMAIN MATIN À 5 h 55'																																																																																																																																																																																																																									
0	25,40	3'	25,37	9'	25,37																																																																																																																																																																																																																				
1'	25,40	5'	25,37	12'	-																																																																																																																																																																																																																				
2'	25,37	7'	-	15'	25,37																																																																																																																																																																																																																				
⑪ OBSERVATIONS : pompage irrégulier.																																																																																																																																																																																																																									
compteur au lendemain 3497, 1286																																																																																																																																																																																																																									

Nota : réaliser les opérations dans l'ordre, sauf ④ et ⑤ qui peut être fait après ⑧ si forage au repos

Date de l'essai : 15/06/87

DÉTERMINATION DU NIVEAU DYNAMIQUE  
EN FIN DE SAISON SÈCHE

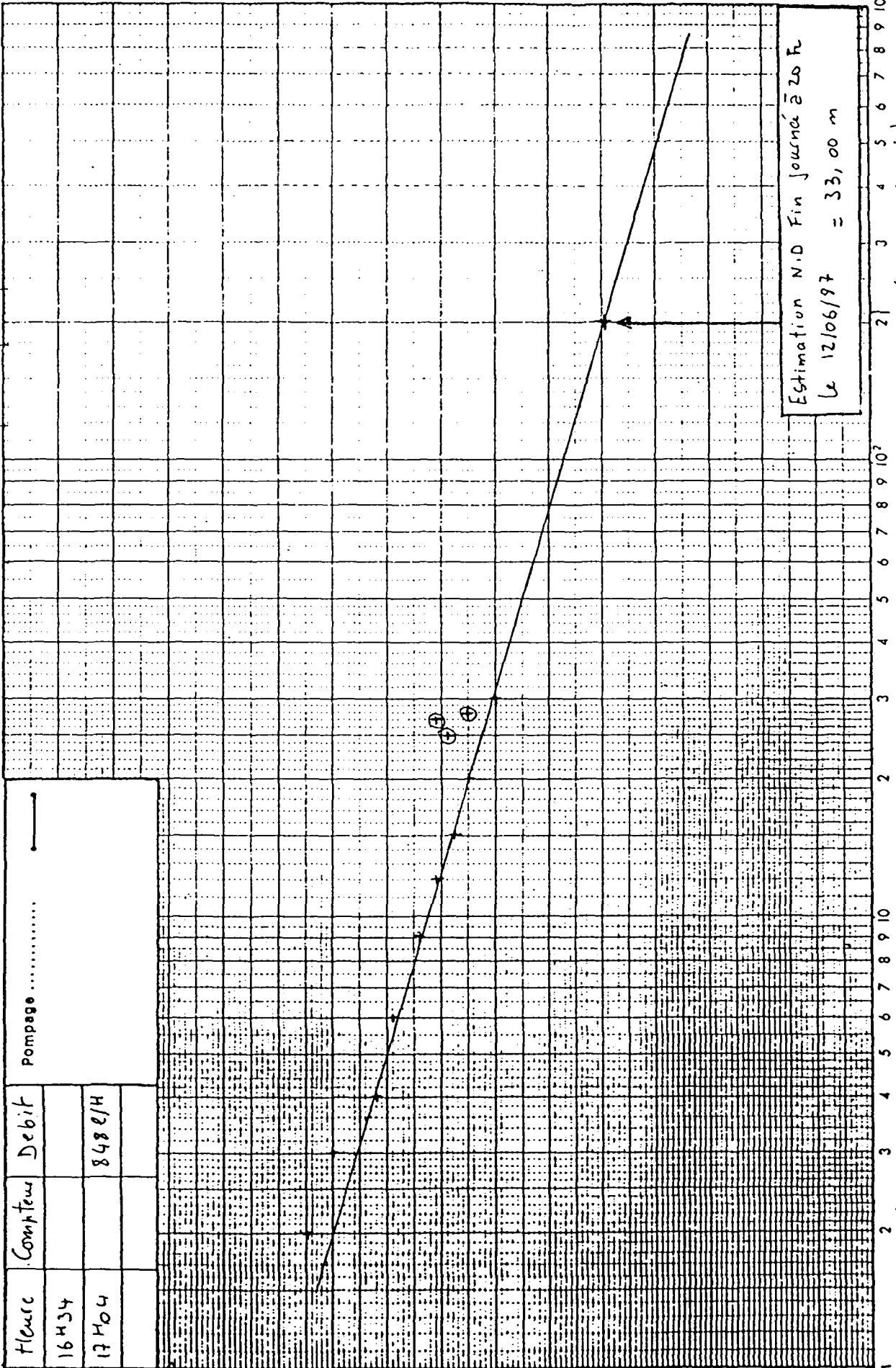
ESSAIS SUR FORAGES (30 MIN)

Village : Bossomnoré (Nossi)

F: 16.11.06.917/92

Fleuse	Compteur	Debit
16H34		
17H04		848 l/H

Pompage .....



Δ Niveaux sous repère

Minutes

BURGEAP

ANNEXE 3

MODÈLE BICOUCHE RÉALISÉ

La théorie de THEIS, et son approximation de JACOB, s'appliquent en toute rigueur à un aquifère unique, de transmissivité T et de coefficient d'emmagasinement S, sous un recouvrement totallement imperméable qui le maintient captif.

Dans le cas, fréquent en milieu cristallin sous climat tropical, où un aquifère secondaire libre, peu perméable, (les altérites), mais fortement "capacitif" en raison de sa grande porosité, se superpose à l'aquifère principal fissuré, on doit appliquer d'autres théories, dérivées de celle de THEIS (BOULTON, HANTUSH, ...).

Dans ce cas, l'évolution des rabattements (pente de la droite de JACOB) continue à être commandée par la transmissivité de l'aquifère principal, tandis que l'importance des rabattements est réduite par la forte porosité de l'aquifère secondaire, d'où provient avec retard la majeure partie de l'eau pompée.

Le modèle "bicouche" qui a été réalisé avait donc pour buts :

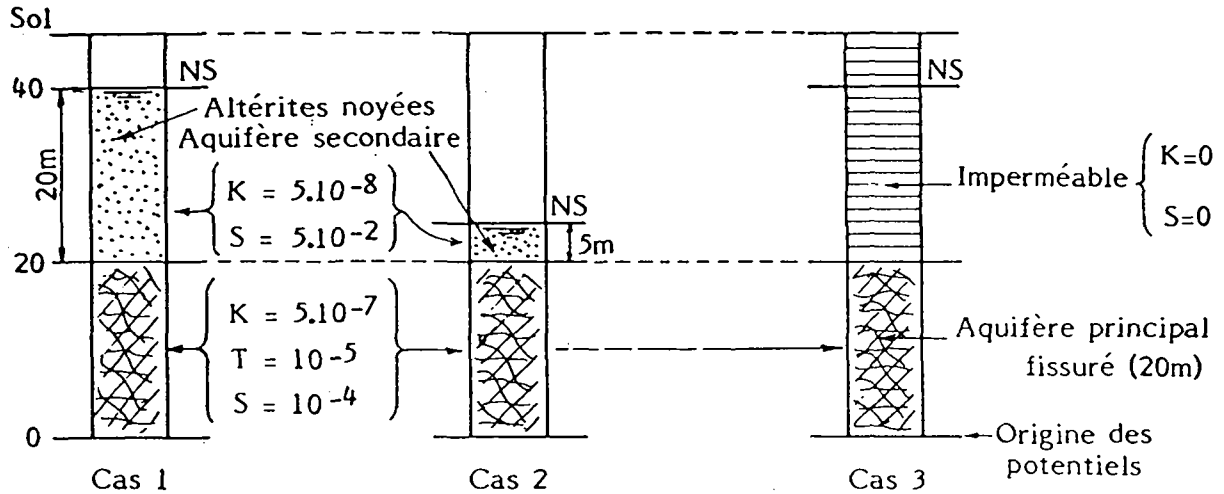
1. De préciser, sur un exemple courant, l'effet sur les rabattements de la présence du "réservoir secondaire", très capacitif mais peu perméable, des altérites noyées,
2. D'examiner ce qui se produit lorsque, au cours de l'exploitation, l'aquifère secondaire des altérites vient à être dénoyé au droit du forage de pompage.

On a donc examiné 3 cas, récapitulés dans le schéma 1 ci-dessous :

- Cas 1 : 20 mètres d'altérites noyées
- Cas 2 : 5 mètres d'altérites noyées
- Cas 3 : 0 mètres d'altérites (cas théorique de THEIS)

Le cas 3 étant directement accessible au calcul, on a modélisé seulement les cas 1 et 2.

Schéma 1 : Cas étudiés



### 1. HYPOTHESES DE BASE

Le système hydrogéologique simulé (habituel en milieu de socle fissuré) comporte 2 couches superposées :

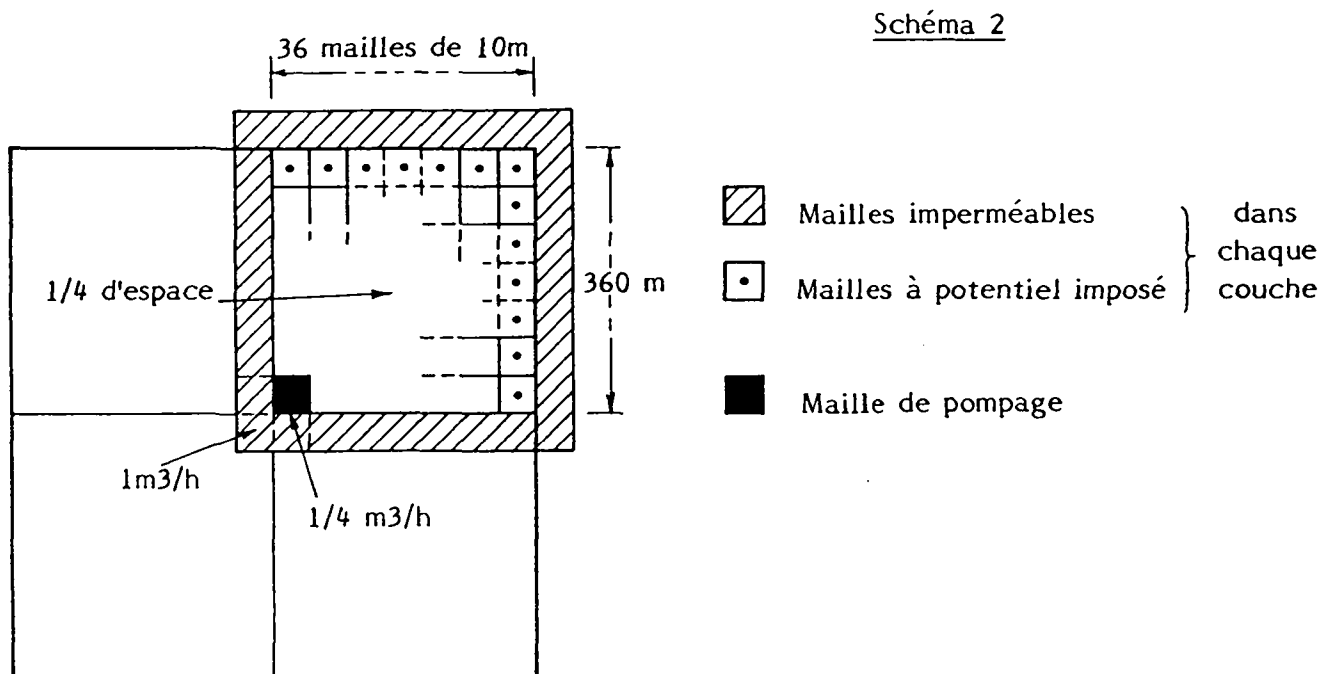
- un aquifère principal, fissuré, captif, d'épaisseur supposée constante 20 mètres, de transmissivité  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s ( $K$  moyen =  $5.10^{-7}$  m/s, et de coefficient  $S = 10^{-4}$ , dans lequel on effectue un pompage à débit 1 m<sup>3</sup>/heure, 12 heures par jour (pompages cycliques) pendant 8 mois,
- un aquifère secondaire libre, fortement capacitif ( $S = 5.10^{-2}$ ), composé d'altérites noyées, de médiocre perméabilité :  $K = 5.10^{-5}$  m/s ; pour les besoins de l'analyse, on a considéré deux cas, suivant l'épaisseur de ces altérites noyées, prise égale à 20 mètres (cas 1) et à 5 mètres (cas 2),
- on a adopté entre les deux couches un coefficient vertical de passage de  $10^{-7}$ s<sup>-1</sup>.

Les niveaux statiques des deux aquifères sont supposés horizontaux et confondus au départ.

## 2. PRESENTATION DU MODELE

Il s'agit d'un modèle bicouche en régime transitoire.

Afin de réduire le nombre des mailles, et considérant que les écoulements sont radiaux autour du forage, on a modélisé seulement un quart d'espace, la "maille de pompage" fournissant 1/4 du débit total pompé : voir schéma 2 ci-dessous.



Le rayon d'influence à 8 mois en régime transitoire, calculé sur la base de la transmissivité de l'aquifère principal, et du coefficient d'emménagement de l'aquifère supérieur (le plus capacitif et d'où provient à terme l'essentiel de l'eau pompée) est de l'ordre de la centaine de mètres.

Nous avons donc considéré un maillage carré de 360 mètres de côté (36 x 36 mailles carrées de 10 mètres de côté par couche), soit au total 2 592 mailles de calcul.

Le modèle comporte également :

- sur tout son pourtour une rangée de mailles imperméables limitant le modèle,
- sur deux côtés extérieurs une rangée de mailles à potentiel imposé : l'origine choisie (potentiel zéro) pour les potentiels est la base de l'aquifère principal ; le potentiel hydraulique de départ est le sommet de l'aquifère supérieur (+ 40 dans le cas 1, + 25 dans le cas 2).

Les diverses caractéristiques des cas étudiés sont récapitulées dans le tableau ci-après et le schéma 1 :

CAS N°	1	2	3
Aquifère supérieur : épaisseur (m) secondaire (altérites)	20	5	0
K ( $10^{-7}$ m/s)	0,5	0,5	0
S ( $10^{-2}$ )	5	5	
COEFF. DE PASSAGE ( $10^{-7}$ s <sup>-1</sup> )	1	1	
Aquifère fissuré : épaisseur (m) principal	20	20	20
K ( $10^{-7}$ m/s)	5	5	5
S ( $10^{-2}$ )	0,01	0,01	0,01

Remarque 1

Le cas 3 ne comportant qu'une seule couche n'a pas été modélisé, les résultats étant accessibles directement par calcul simple à la machine, en appliquant les formules de l'Annexe 1 pour le calcul des points bas.

Remarque 2 : l'aquifère supérieur est libre.

L'aquifère inférieur principal est captif, mais, dès que le dénoyage de son toit se produit, le programme en tient compte et recalcule les transmissivités comme pour une nappe libre.

Remarque 3 : un tel modèle ne peut représenter les rabattements au forage lui-même, puisque le débit (quart du débit total) est supposé prélevé dans une maille de 100 m<sup>2</sup> ; toutefois, il montre correctement l'évolution des niveaux dès les premières mailles situées à 10, 20 m, etc. de la maille de pompage.



### 3. RESULTATS

#### 3.1. Rayon d'influence

On vérifie tout d'abord que, pour les hypothèses adoptées, qui représentent des cas habituels en zone de socle, les rayons d'influence à 8 mois n'atteignent pas les limites à potentiel imposé du modèle : les mailles situées à 100 mètres de la limite ont un rabattement maximum inférieur à 7 millimètres, dans les deux couches et dans les deux cas.

#### 3.2. Evolution des points bas (aquifère principal)

Les résultats sont synthétisés sur les deux planches jointes :

##### 3.2.1. Effets des altérites sur les rabattements dans l'aquifère principal

La planche n° 1 compare, à 10 mètres du pompage, l'évolution des "points bas" (niveaux dynamiques à la fin de chaque cycle de pompage quotidien de 12 heures) pour les cas 1 et 3 (à savoir 20 mètres d'altérites noyées, et pas d'altérites noyées).

Les deux droites sont parallèles. Leur pente permet de retrouver à la précision graphique près (avec le débit moyen pompé  $Q/2$ ) une transmissivité égale à celle adoptée dans le modèle ( $1.10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s).

Ceci est conforme à la fois à la théorie, et à ce qui est représenté sur la planche 1 du rapport : l'évolution à terme des points bas suit une droite parallèle à la droite de JACOB correspondant à un pompage continu à débit  $Q/2$ .

La présence de 20 mètres d'altérites fortement poreuses dans le cas 1, explique que les rabattements soient plus faibles d'environ 10 mètres par rapport au cas 3 (pas d'altérites) ; il faut préciser que, malgré l'absence d'altérites, on a considéré dans le cas n° 3 que l'aquifère principal captif n'était pas dénoyé, et gardait donc une transmissivité constante.

##### 3.2.2. Effets du dénoyage des altérites

La planche 2 compare, en fonction du temps, l'évolution des rabattements ("points bas") dans l'aquifère principal, pour les cas 1 et 2 (20 mètres et 5 mètres d'altérites noyées), dans la maille de pompage (niveau moyen), ainsi qu'à 10, 20 et 30 mètres du pompage.

On constate que la courbe du cas 2 (altérites minces) s'écarte de la courbe du cas 1 (altérites épaisses) dès que les altérites sont dénoyées dans la maille de pompage (cycle n° 30).

Cette divergence des rabattements dans le cas 2 se produit au même moment, à un moindre degré, sur les mailles plus lointaines, bien que les altérites ne soient pas dénoyées dans ces mailles.

### 3.3. Evolution des points bas (aquifère secondaire)

Cette évolution est figurée également sur la planche 2.

Le tableau ci-dessous récapitule en outre, au bout de 240 cycles, pour chaque couche, dans les deux cas, les rabattements aux points bas.

Il montre que le rabattement dans l'aquifère secondaire est toujours plus faible que celui de l'aquifère principal ; la différence de pression dynamique entre les 2 couches varie selon les mailles : 1,5 à 4 mètres dans la maille de pompage, moins de 1 mètre au-delà de 10 mètres de pompage.

#### RABATTEMENTS A 240 JOURS

		MAILLE DE POMPAGE	MAILLE A 10 METRES	MAILLE A 20 METRES	MAILLE A 30 METRES	ALTERITES NOYEES
CAS 1	Aq. supérieur (altérites)	5,43	3,89	2,90	2,23	20 m
	Aq. inférieur (socle fissuré)	7,13	4,38	3,17	2,30	
CAS 2	Aq. supérieur (altérites)	4,44	4,16	3,06	2,34	5 m
	Aq. inférieur (socle fissuré)	8,54 *	4,83	3,30	2,43	

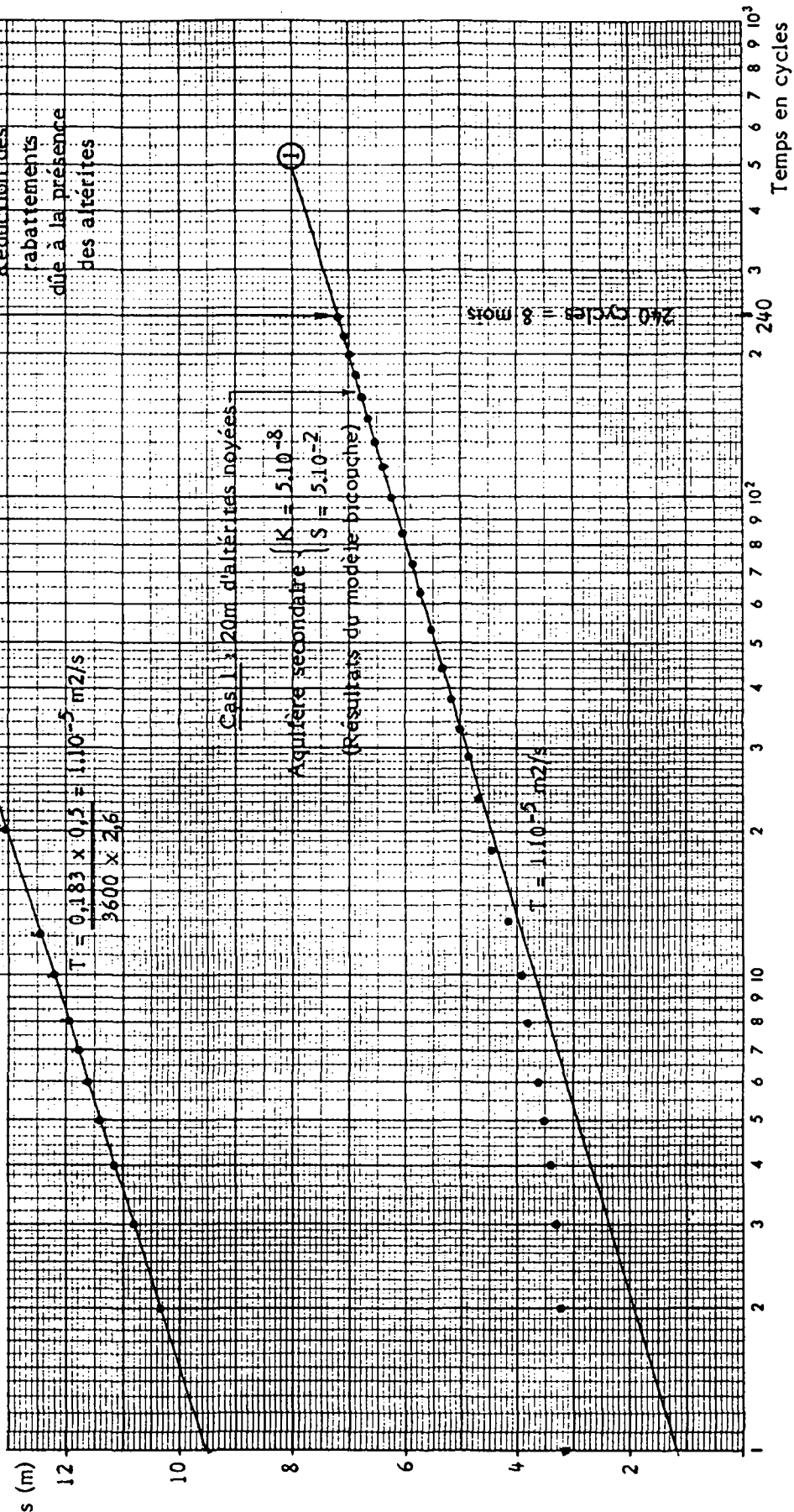
\* Sommet de l'aquifère principal dénoyé de 3,54 m dans la maille de pompage.

PL.I

Modèle bicouche  
ENVELOPPES DES POINTS BAS  
 Aquifère principal

( Mailles à 10 mètres )

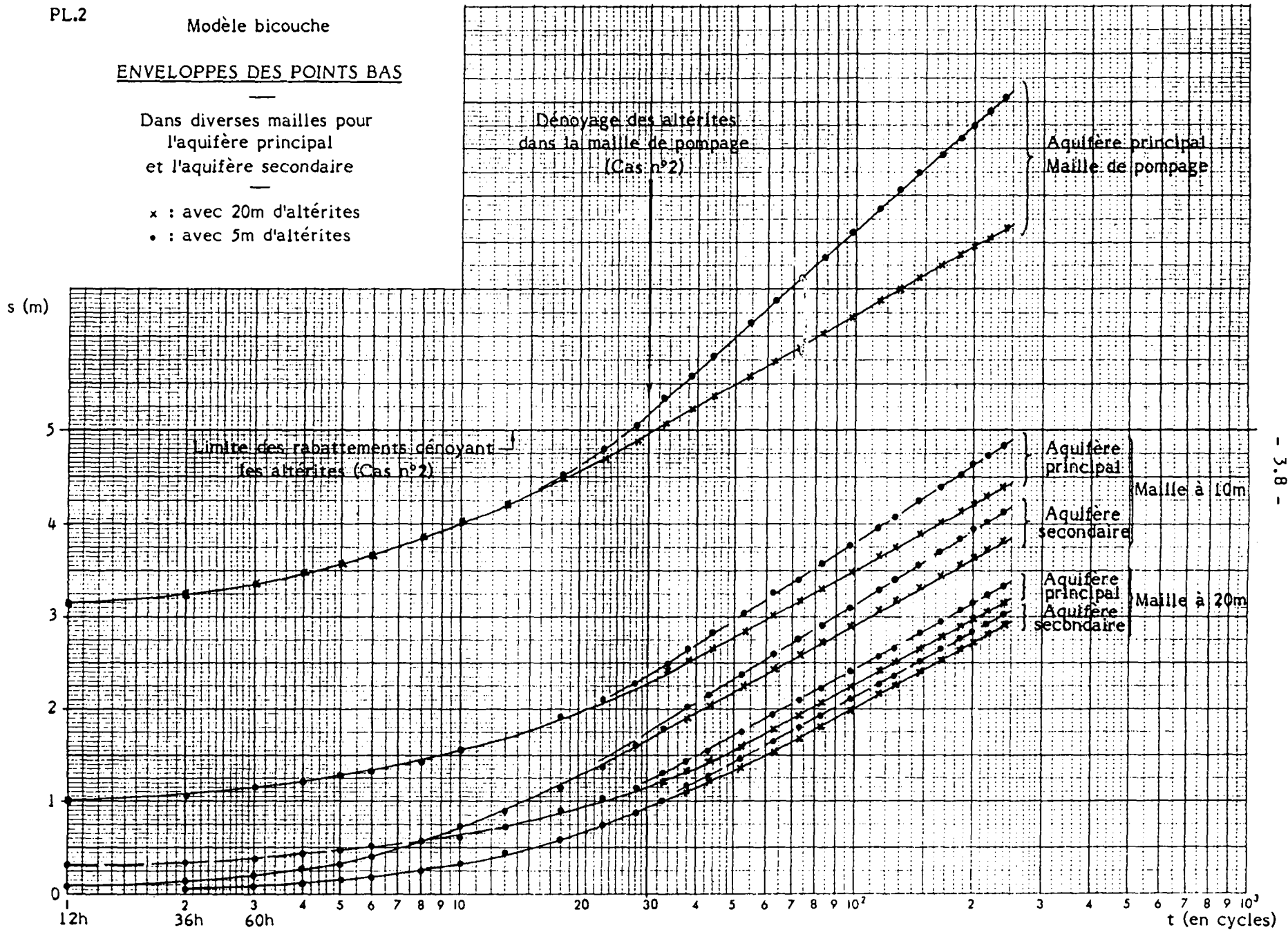
	Epaisseur des aquifères	
	Principal	Secondaire
Cas 1	20	20
Cas 2	20	5
Cas 3	20	0



ENVELOPPES DES POINTS BAS

Dans diverses mailles pour  
l'aquifère principal  
et l'aquifère secondaire

- x : avec 20m d'altérites
- : avec 5m d'altérites



ANNEXE 4

NOTICE PÉDAGOGIQUE

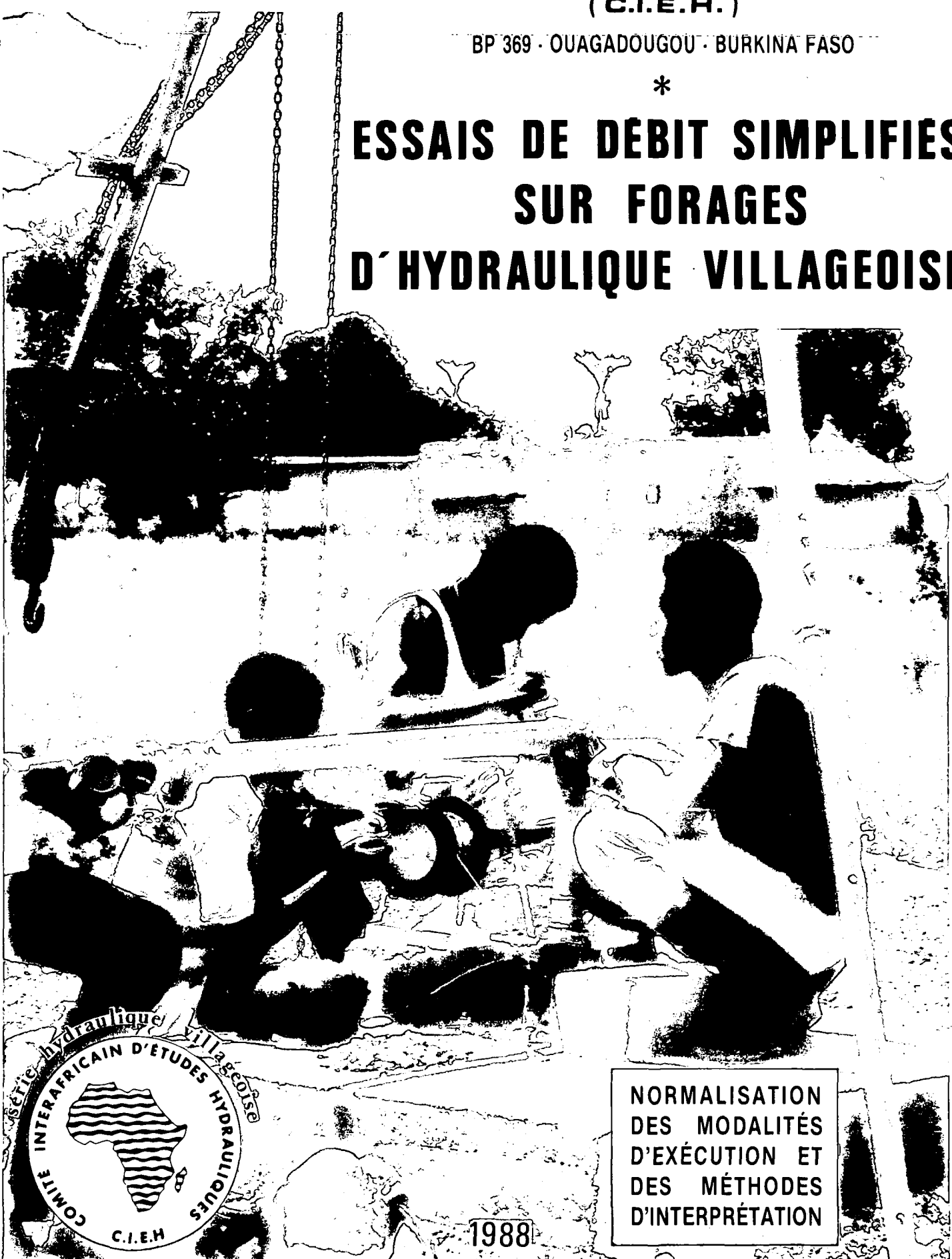
(Plaquette)

COMITÉ INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES  
( C.I.E.H. )

BP 369 · OUAGADOUGOU · BURKINA FASO

\*

# ESSAIS DE DÉBIT SIMPLIFIÉS SUR FORAGES D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE



NORMALISATION  
DES MODALITÉS  
D'EXÉCUTION ET  
DES MÉTHODES  
D'INTERPRÉTATION

1988



**BURGEAP**

ETUDE ET MISE EN VALEUR DES EAUX SOUTERRAINES

**CETTE MÉTHODE SIMPLIFIÉE  
DESTINÉE AUX FORAGES VILLAGEOIS PERMET DE DÉTERMINER  
LA PROFONDEUR D'INSTALLATION DE LA POMPE  
ET L'ORDRE DE GRANDEUR DU DÉBIT MAXIMUM**

**LA MÉTHODE NORMALISÉE CI-APRÈS :**

est applicable à tous les forages d'hydraulique villageoise, qu'ils exploitent le socle ou les terrains sédimentaires ; elle comporte un véritable pompage d'essai, bref (5 heures), mais standardisé.

**ATTENTION :** si l'on prévoit un moyen de pompage ou un aménagement aval plus coûteux (pompe solaire, système d'irrigation...), il sera nécessaire ultérieurement d'effectuer un essai de pompage classique, de longue durée, éventuellement suivi sur piézomètres.

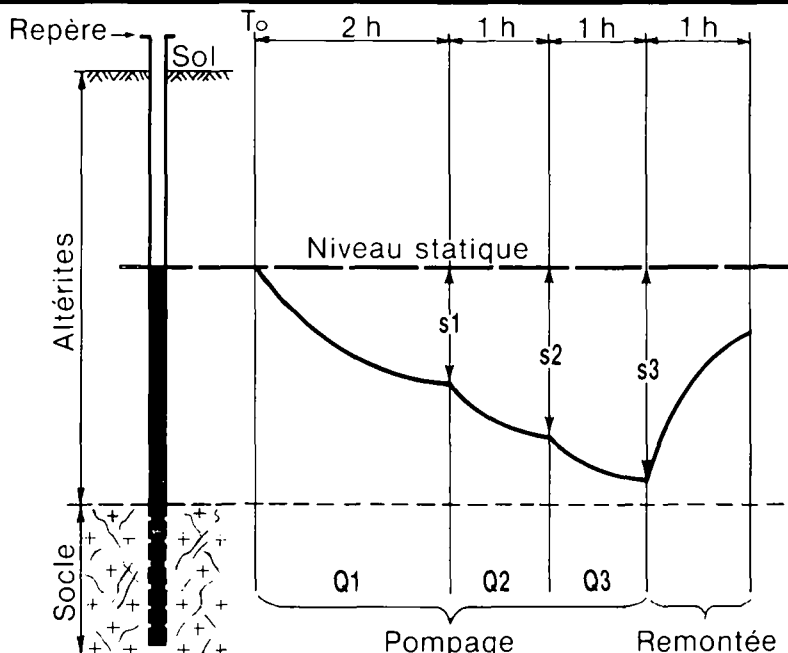
**1 PRINCIPES DE L'ESSAI**

l'essai comporte :

- 1° palier de pompage de 2 heures ( $Q_1$ )
- 2° palier enchaîné, de 1 heure ( $Q_2 > Q_1$ )
- 3° palier enchaîné, de 1 heure également ( $Q_3 > Q_2$ )
- mesure de la remontée pendant 1 heure.

**ATTENTION :**

Dans cet essai normalisé, le premier débit doit obligatoirement être voisin de celui d'une pompe à motricité humaine ( $0.7$  à  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ ).



**2 PRINCIPES DE L'INTERPRÉTATION**

**MÉTHODE SEMI-LOGARITHMIQUE DE JACOB ; PRISE EN COMPTE DES PERTES DE CHARGE.**

- 2.1 Le rabattement spécifique ( $s/Q$ ) du premier palier est reporté en fonction du temps sur papier semi-logarithmique ; on calcule la pente  $d$  de cette droite (voir 4.2.3.).
- 2.2. On détermine par des considérations hydrogéologiques, le niveau le plus bas à ne pas dénoyer, même au plus fort de la saison sèche : on adoptera par exemple la première venue d'eau importante, le sommet des crépines, ou la base des altérites. Cette profondeur est notée  $ND_{Max}$  (voir 4.1).
- 2.3 Par construction graphique on obtient le rabattement spécifique ( $s/Q$ ) à 8 mois :  $s/Q_{8m}$ , dont on déduit le rabattement  $s_{8m}$  après 8 mois d'exploitation à un rythme de 12 heures de pompage par jour. Cette période de 8 mois représente la durée habituelle de la saison sèche en région sahélo-soudanaise (l'application de cette méthode aux régions à 2 saisons sèches conduit à des résultats pessimistes et va donc dans le sens de la sécurité).
- 2.4 La somme du rabattement à 8 mois ( $s_{8m}$ ) et du niveau statique d'étiage  $NSE$  estimé par ailleurs doit être inférieure à  $ND_{Max}$ . Dans le cas contraire, il faut réduire le débit ou la durée journalière de pompage.
- 2.5 Les rabattements  $s_2, s_3$  à la fin des 2 derniers paliers sont corrigés  $s_2^*, s_3^*$  pour une durée de 2 heures. On calcule les rabattements spécifiques  $s_1/Q_1, s_2^*/Q_2, s_3^*/Q_3$ , et l'on trace la droite caractéristique à 2 heures, de  $s/Q$  en fonction de  $Q$ .

La droite caractéristique  $s/Q = f(Q)$  à 8 mois est la parallèle à la caractéristique à 2 heures, passant par le point  $s/Q_{8m}$ , d'équation  $A.Q_2 + B.Q - s = 0$ . Cette droite permet d'apprécier graphiquement :

- le rabattement en fin de saison sèche pour tout débit d'exploitation  $Q$  envisagé. (voir 4.5) ;
- le débit d'exploitation pour tout rabattement fixé à l'avance ;
- l'ordre de grandeur du débit maximum admissible. (voir 6.1).

**3.1 AVANT L'ESSAI**

3.1.1 Remplir avec soin les parties 1 à 3 de la fiche A ; choisir un repère précis pour les mesures, en général le sommet du tube, puis mesurer sa hauteur au dessus du sol et la noter en partie 3.

3.1.2 Déterminer le nombre et les débits des paliers selon le débit obtenu lors du développement. Si le forage a donné :

- moins de 1 m<sup>3</sup>/h : on réalisera un seul palier de 4 heures à un débit voisin de 0,7 m<sup>3</sup>/h,
- entre 1 et 2 m<sup>3</sup>/h : 2 paliers de 2 h chacun, aux débits Q1 = 0,7 à 1 m<sup>3</sup>/h, Q2 = 1,5 à 2 m<sup>3</sup>/h, } (1)
- 3 m<sup>3</sup>/h ou plus : 3 paliers, Q1 (2 h) = 0,7 à 1 m<sup>3</sup>/h, Q2 (1 h) = 1,5 à 2 m<sup>3</sup>/h, Q3 (1 h) à 70 % (env.) du débit maximum obtenu au développement.

EXEMPLE (Fiche A page 3)

Repère choisi : sommet du tubage PVC à 0.7 m au dessus du sol.

Le forage a donné, lors de son développement, 4.75 m<sup>3</sup>/h.

Les débits choisis sont donc :  
 Q1 = 1 m<sup>3</sup>/h  
 Q2 = 2 m<sup>3</sup>/h  
 Q3 = 3.3 m<sup>3</sup>/h (4.75 x 0.7)

(1) cf. Nota 4.4

**3.2 PENDANT L'ESSAI**

3.2.1 Mesurer le niveau d'eau à la sonde selon la périodicité du tableau 4 fiche A ; le débit sera ajusté pendant les 3 premières minutes, et contrôlé ensuite 1 à 2 minutes avant chaque mesure.

3.2.2 Les paliers sont enchaînés à l'heure précise prévue, par ouverture contrôlée de la vanne, avec réglage durant les 3 premières minutes après chaque changement de débit.

3.2.3 La remontée du niveau sera suivie pendant une heure après l'arrêt du pompage.

**Précision des mesures :**

- 1 cm pour les niveaux
- 5 secondes pour les débits au bac jaugé.
- 5 mn au tube de Pitot.
- Remplir au fur et à mesure les colonnes : heure, niveau, mesure de débit et débit.
- Remplir la colonne niveau.

NS = 14,38 m/repère, le débit dans l'exemple est mesuré au bac jaugé de 20 litres.

Début 1<sup>er</sup> palier : 7 h 15, à 8 h 15 = 60 mn le niveau = 22.67 m débit = 20 l en 74 sec. = 0.97 m<sup>3</sup>/h.

Début remontée : 11 h 15, après 10 mn le niveau = 21,33 m, etc...

Fiche A		ESSAI DE DÉBIT SIMPLIFIÉ POUR FORAGES VILLAGEOIS		N°	/ F N°
TABLEAU DE MESURES		MESURES PENDANT L'ESSAI		Village :	EXEMPLE
<b>1) CARACTERISTIQUES DU FORAGE</b> rofondeur forée : 60,3 m/sol rofondeur mesurée : 60,0 m/sol rofondeur socle sain : 32 m/sol rofondeur venues d'eau : à 43 m : 0,8 m <sup>3</sup> /h à 55,1 m : 3,75 m <sup>3</sup> /h rofondeur ommet crépine : 51,3 m/sol iamètre crépine : 110 mm ébit fin forage : 4 m <sup>3</sup> /h					
<b>2) DEVELOPPEMENT DU FORAGE</b> S avant développement : 13,9 m/sol ate : 28/3/84 urée : Air lift : 2 h Pompe : h ébit : Air lift : 4,75 m <sup>3</sup> /h Pompe : m <sup>3</sup> /h urbidité eau après : 30' : Trouble sableuse 1 h : Laitieuse 2 h : Claire S après développement : 13,8 m/sol					
<b>3) DONNÉES DE L'ESSAI</b> repère : Nature : Tube PVC Hauteur /sol : 0,70 m/sol S avant essai : 14,38 m/rep ofondeur avant essai : 60,7 m/repère ofondeur après essai : 60,7 m/repère esures de débit par : e) Tube Pitot : Ø ou bac jaugé : 20 litres ompes : Type : GRUNDFOFOS Prof. crépine : 50 m/sol ir lift double tube : Profondeur 2"1/2 : m/rep Profondeur 3/4" : m/rep					
<b>4) DESCENTE</b> Pompage de : 7 h 15 mn à 11 h 15 mn		Region : Date : 29/3/84 Opérateur : BURGEAP			
Heure	t/mn	Niveau eau	Rabatt. (s)	DÉBITS Q Temps m <sup>3</sup> /h	s/Q
7 h 15	0	14,38	NS		
	3	18,64	4,26	72" 1	4,26
	5	19,55	5,17	72" 1	5,17
	10	21,07	6,69	72" 1	6,69
	15	21,52	7,14	72" 1	7,14
	20	21,94	7,56	72" 1	7,56
7 h 45	30	22,14	7,76	74" 0,97	8,00
	40	22,27	7,89	74" 0,97	8,13
8 h 15	60	22,67	8,29	74" 0,97	8,55
	80	23,18	8,80	72" 1	8,80
	100	23,38	9,00	72" 1	9,00
9 h 15	120	23,58	9,20	72" 1	9,20
	125	27,68	13,30	36" 2	
	130	29,88	15,50	36" 2	
	140	31,38	17,00	36" 2	
	150	32,28	17,90	36" 2	
	160	32,58	18,20	36" 2	
10 h 15	180	32,72	18,34	36" 2	9,17
	190	39,40	25,02	22" 3,27	
	200	41,98	27,60	22" 3,27	
	210	42,58	28,20	22" 3,27	
	220	44,48	30,10	22" 3,27	
	230	45,18	30,80	22" 3,27	
11 h 15	240	45,54	31,16	22" 3,27	9,53
<b>4) REMONTÉE</b> de 11 h 15 à 12 h 15		Observations (Manœuvres, eau claire/trouble, tache sable, etc...)			
	t/mn	Niveau eau			
	5	23,47			
	10	21,33			
	20	18,67			
11 h 45	30	17,76			
	40	17,18			
	50	16,69			
12 h 15	60	16,66			
Observations : NOTA : L'interprétation de la remontée sort du cadre de cet essai simplifié se reporter au R.785/E.1708 Température eau : Conductivité :					

Fiche B		ESSAI DE DÉBIT SIMPLIFIÉ POUR FORAGES VILLAGEOIS		N°	/ F																								
INTERPRÉTATION		ESSAI DE DÉBIT		Village :	EXEMPLE																								
<b>1) PROFONDEURS/SOL</b> Forée : 60,3 m Tubée : 60 m Sommet crépine : 51,3 m Premières venues d'eau : 43 m Toit Socle : 32 m		Dates : 28/3/84 Niveau statique/sol : 13,90 13,68		DATE : 29/3/84 Niveau statique/sol : 13,90 13,68 Palier/Durée : 1 2 h Débit m <sup>3</sup> /h : Q1 = 1 Rabatt.(s) fin palier : s1 = 9,20 Rabatt (s) corrigé 2 h : s2 = 18,34 s3 = 31,16 s1/Q1 = 9,2 s2/Q2 = 9,32 s3/Q3 = 9,59 ND Max : 43 m Fixé d'après : 1 <sup>er</sup> venues d'eau Etabli par : BURGEAP																									
<b>2) NIV. DYNAMIQUE MAX.</b> ND Max : 43 m																													
<b>4) COURBE / ESSAI EXPLOITATION</b> 																													
<b>6) CARACTERISTIQUES</b> s/Q = 110 																													
<b>5) CALCUL DU RABATTEMENT MAXIMUM ADMISSIBLE</b> Niveau statique le : 29/3/84 NS = 13,7 m (par rapport au sol) Baisse saisonnière estimée : ΔNS = 1,3 m Niveau statique d'étiage NS + ΔNS = 15 m Rabattement maximum admissible NDMax - NSE = sMax = 28 m																													
<b>8) SYNTHÈSE : EXPLOITATION POSSIBLE</b> <table border="1"> <tr> <th>Pompe, type</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>Débit max.</th> </tr> <tr> <td>Débit m<sup>3</sup>/h</td> <td>0,7</td> <td>1,4</td> <td>1,9</td> </tr> <tr> <td>Heures/jour</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Niv. dynamique 8 mois</td> <td>25,18</td> <td>35,58</td> <td>43,02</td> </tr> <tr> <td>Marge sécurité ΔA</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Profondeur pompe</td> <td>29</td> <td>39</td> <td></td> </tr> </table>						Pompe, type	1	2	Débit max.	Débit m <sup>3</sup> /h	0,7	1,4	1,9	Heures/jour	12	12	12	Niv. dynamique 8 mois	25,18	35,58	43,02	Marge sécurité ΔA	3	3	-	Profondeur pompe	29	39	
Pompe, type	1	2	Débit max.																										
Débit m <sup>3</sup> /h	0,7	1,4	1,9																										
Heures/jour	12	12	12																										
Niv. dynamique 8 mois	25,18	35,58	43,02																										
Marge sécurité ΔA	3	3	-																										
Profondeur pompe	29	39																											
<b>7) A 8 MOIS D'EXPLOITATION</b> au débit 0,12 h/24 s = AO' + BO ou QMax = $\frac{\sqrt{B^2 + 4As} - B}{2A}$																													



## 6 REMARQUES ADDITIONNELLES

### 6.1 ESTIMATION DU DÉBIT MAXIMUM DU FORAGE (Fiche B, partie 7)

A partir des coefficients A et B calculés ci-dessus en 4.4.3 et 4.4.5, l'équation de la droite caractéristique  $s/Q=f(Q)$  à 8 mois est :  $s/Q=A.Q+B$ , qui s'écrit aussi :  $s=A.Q^2+B.Q$   
Cette équation du second degré en Q a pour solution réelle :  $Q=(\sqrt{B^2+4.A.s}-B)/2.A$

Si l'on se fixe un rabattement maximum (sMax) (Fiche B, partie 5), le débit maximum QMax autorisé pour ne pas rabattre au dessous de NDMax s'écrit alors :  $QMax=(\sqrt{B^2+4.A.sMax}-B)/2.A$

pour sMax = 28 (voir 4.3.4) il vient :  $QMax = \frac{(\sqrt{14,4 \times 14,4 + (4 \times 0,17 \times 28)} - 14,4)}{2 \times 0,17} = 1,90 \text{ m}^3/\text{h}$

### 6.2 CORRECTION DE L'EFFET DE PUIT

Pour les faibles débits, le volume d'eau contenu dans le forage n'est pas négligeable, en début d'essai notamment. Il introduit sur les premiers points de mesure (3, 5, 10 et 15 minutes) une erreur facile à corriger comme indiqué sur l'exemple ci-contre. Les premiers points ainsi corrigés peuvent servir alors à mieux placer la droite de JACOB.

Un pompage à 1 m<sup>3</sup>/h extrait du forage 0.28l/s : la mesure faite à 3 mn = 180 s correspond à un volume extrait de 180 × 0,28 = 50,4 l. Le volume d'un tubage 4" est de 8 l/m ; le rabattement à 3 minutes est de 4,26 m et représente 4,26 × 8 = 34,1 litres. Le volume d'eau extrait de l'aquifère n'est donc que de 50,4 - 34,1 = 16,3 l. Le temps de pompage corrigé est de 16,3/0,28 = 58 secondes, soit environ 1 minute. Le point s/Q mesuré à 3 minutes doit, en réalité, être reporté au temps corrigé de 1 minute.

On calculera également, sur l'exemple, que le point s/Q mesuré à 5 minutes doit être reporté au temps corrigé de 2.5 minutes.

### 6.3 TRANSMISSIVITÉ

La transmissivité T de l'aquifère ne sert pas dans l'interprétation de cette méthode simplifiée. Cette transmissivité constitue cependant un indice utile qui permet de comparer les forages. On la calcule à partir de d (voir 4.2.3) par la formule :

$T \text{ (m}^2/\text{s)} = 0,183 / (3600.d)$  ou  $T = 5.10^{-5} / d$  : dans l'exemple fourni, on a :  
 $T = 5.10^{-5} / 2,5 = 2.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 6.4 INTERPRÉTATION DE LA REMONTÉE

Pour l'interprétation de la remontée, et pour obtenir plus de détails sur la méthode décrite ici, on se reportera au rapport explicatif BURGEAP R.785/ E. 1708.

## LISTE DES SYMBOLES UTILISÉS

A	: pente des droites caractéristiques $s/Q=f(Q)$ .
B	: ordonnée à l'origine de la caractéristique à 8 mois d'exploitation pendant 12 heures par jour.
d	: pente, dans un cycle log, de la droite de JACOB $s/Q=f(\log t)$ , tracée pour le premier palier de l'essai (2 heures à débit Q1).
ΔNS	: fluctuation saisonnière présumée du niveau statique entre la date de l'essai et la fin de la saison sèche.
ΔIA	: marge interannuelle de baisse de niveau adoptée par sécurité en période de sécheresse.
NS	: niveau statique mesuré à un instant donné.
NDMax	: niveau dynamique maximum admissible pour ne pas dénoyer les fissures aquifères.
Q	: débits en m <sup>3</sup> /heure (en exploitation : 12 h/j).
QMax	: débit maximum admissible 12 h/j (m <sup>3</sup> /h).
Q1	: débit m <sup>3</sup> /h du premier palier de l'essai.
Q2	: débit m <sup>3</sup> /h du deuxième palier de l'essai.
Q3	: débit m <sup>3</sup> /h du troisième palier de l'essai.

s	: rabattement à un instant donné (m).
s1, s2, s3	: rabattements à la fin de chacun des trois paliers.
sMax	: rabattement maximum admissible.
s2*	: rabattement corrigé correspondant au rabattement que l'on aurait obtenu après 2 heures de pompage au débit Q2 si l'on n'avait pas réalisé le palier de débit Q1.
s3*	: rabattement corrigé correspondant au rabattement que l'on aurait obtenu après 2 heures de pompage au débit Q3 si l'on n'avait pas réalisé auparavant les paliers Q1 et Q2.
s/Q	: rabattement spécifique (m/m <sup>3</sup> /h) à un instant donné.
s2*/Q2	: rabattement spécifique corrigé après 2 heures de pompage au débit Q2 (idem pour s3*/Q3).
s8m	: rabattement à 8 mois pour un pompage de débit Q, 12 h/jour.
T	: transmissivité (m <sup>2</sup> /s).

4 CONDUITE DE L'INTERPRÉTATION (FICHE B)

EXEMPLE (Fiche B page 3)

4.1 TRAVAUX PRÉLIMINAIRES

- 4.1.1 sur fiche A : calculer s et s/Q, sauf pour la remontée.
- 4.1.2 sur fiche B : - remplir la partie 1 à partir de la fiche A ;
- 4.1.3 - en partie 2 fixer le niveau dynamique maximum NDMax ;
- 4.1.4 - porter en partie 3, s1, s2, s3, Q1, Q2, Q3.

60 mn :  $s = 22.67 - 14.38 = 8.29$  m  
 $s/Q = 8.29 / 0.97 = 8.55$  m/m<sup>3</sup>/h  
 Ici, on a adopté NDMax = 43.0 m  
 $s1 = 9.20$   $s2 = 18.34$   $s3 = 31.16$  m  
 $Q1 = 1$ ,  $Q2 = 2$ ,  $Q3 = 3.27$  m<sup>3</sup>/h

4.2 CONSTRUCTION DE LA COURBE ESSAI-EXPLOITATION (Fiche B, partie 4)

- 4.2.1 Reporter les points s/Q correspondant au seul premier palier, puis tracer la droite dite « de Jacob » comme indiqué ci-contre, puis la prolonger jusqu'aux verticales X et Y (points a et b de l'exemple) ; tracer ensuite l'horizontale b c, puis joindre a c. L'ordonnée s/Q de c est le rabattement spécifique après 8 mois de pompage 12 h/jour (s/Q8m).
- 4.2.2 Multiplier la valeur de s/Q8m par Q1 pour avoir le rabattement s8m après 8 mois d'exploitation au débit Q1, 12 h/jour.
- 4.2.3 Calculer la pente d de la droite entre 10 et 100 minutes, puis l'inscrire sur le graphique.

Pour tracer la droite de JACOB, ne pas utiliser sans correction (voir 6.2) les points situés avant 10 minutes : en cas de doute, choisir la pente la plus forte. L'ordonnée du point c est  $s/Q = 14.6$  m/m<sup>3</sup>/h.  
 comme  $Q=Q1 = 1$  m<sup>3</sup>/h, le rabattement après 8 mois est :  
 $s8m = 14.6$  m/m<sup>3</sup>/h.  $1$  m<sup>3</sup>/h = 14.6 m.  
 pour  $t = 10$  mn, on lit  $s/Q = 6.7$  m  
 pour  $t = 100$  mn, on lit  $s/Q = 9.2$  m  
 d'où  $d = 9.2 - 6.7 = 2.5$  m

4.3 DÉTERMINATION DU RABATTEMENT MAXIMUM ADMISSIBLE (Fiche B, partie 5)

- 4.3.1 Reporter le niveau statique NS par rapport au sol avant l'essai (soustraire la hauteur du repère), noter la date.
- 4.3.2 Reporter la baisse saisonnière (ΔNS) restant à intervenir entre l'essai et la fin de la saison sèche, en utilisant l'abaque de la page 5.
- 4.3.3 Calculer le niveau statique d'étiage minimal :  $NSE = NS + ΔNS$ .
- 4.3.4 Le rabattement maximum admissible est égal à  $sMax = NDMax - NSE$ .

$NS = 14.38 - 0.7 = 13.7$  m à fin mars 1984, il reste 3 mois à courir jusqu'à fin juin :  
 \*  $14.38 - 0.7 = 13.68$  arrondi à 13,7 m  
 on apprécie par interpolation entre les droites une baisse probable de 0,43 m par mois, soit  $ΔNS = 3 \times 0.43 = 1.3$  m  
 $NSE = NS + ΔNS = 13.7 + 1.3 = 15$  m  
 $sMax = NDMax - NSE = 43 - 15 = 28$  m

4.4 ÉTABLISSEMENT DE LA CARACTÉRISTIQUE (Fiche B, partie 6)

- 4.4.1 Calculer les rabattements corrigés s2\* et s3\* pour 2 heures de pompage aux débits respectifs Q2 et Q3, comme suit :  
 $s2^* = s2 + d(0,3 \times Q2 - 0,48 \times Q1)$ , (1)  
 $s3^* = s3 + 0,3 \times d(Q3 - Q2 - Q1)$ .  
 0.3 et 0.48 étant des coefficients invariants. Voir rapport explicatif.
- 4.4.2 Calculer s2\*/Q2, s3\*/Q3, ainsi que s1/Q1, et reporter ces valeurs dans la partie 3 de la fiche B.
- 4.4.3 Reporter sur le graphique (partie 6, fiche B) les 3 points e, f, g, de coordonnées respectives Q1 et s1/Q1, Q2 et s2\*/Q2, Q3 et s3\*/Q3. Ils s'alignent généralement sur une droite qui est la « caractéristique à 2 heures », dont la pente  $A = (s3^*/Q3 - s1/Q1) / (Q3 - Q1)$ .
- 4.4.4 Reporter sur le même graphique le point h, de coordonnées Q1 et s8m/Q1.
- 4.4.5 Mener par ce point h la parallèle à la droite caractéristique à 2 heures. Cette droite est la caractéristique s/Q = f(Q) à 8 mois, elle passe par i, de coordonnées Q3 et s/Q = (s8m/Q1 + s3\*/Q3 - s1/Q1), et coupe l'axe des s/Q en un point d'ordonnée B.

$s2^* = 18.34 + 2.5(0.3 \times 2 - 0.48 \times 1) = 18.64$  m  
 $s3^* = 31.16 + 0.3 \times 2.5(3.27 - 2 - 1) = 31.36$  m  
 $s1/Q1 = 9.20 / 1 = 9.20$  m/m<sup>3</sup>/h  
 $s2^*/Q2 = 18.64 / 2 = 9.32$  m/m<sup>3</sup>/h  
 $s3^*/Q3 = 31.36 / 3.27 = 9.59$  m/m<sup>3</sup>/h  
 $A = (9.59 - 9.20) / (3.27 - 1) = 0.17$  m  
 $h: Q1 = 1$  et  $s8m/Q1 = 14.6 / 1 = 14.6$  m  
 $i: Q3 = 3.27$  et  
 $s/Q = (14.6 + 9.59 - 9.20) = 14.99$  m  
 $B = 14.4$  m

(1) **Nota** : Si l'on ne fait que 2 paliers de 2 heures chacun  
 $s2^* = s2 - d(0,3 \times Q1)$

4.5 POSITIONNEMENT DE LA POMPE D'EXPLOITATION (Fiche B, parties 6 et 8)

La droite caractéristique à 8 mois fournit pour tout débit Q, prélevé 12 heures par jour, le rabattement spécifique s/Q qui sera atteint après 8 mois d'exploitation ; on en déduit le rabattement s à 8 mois en multipliant s/Q par Q.

- 4.5.1 Procéder, pour les calculs, comme dans l'exemple ci-contre pour une pompe de 0,7 m<sup>3</sup>/h, éventuellement procéder de même pour tout autre débit.
- 4.5.2 Calculer le niveau dynamique ND = s8m + NSE. Fixer la profondeur de la pompe sous ce niveau, et reporter cette valeur en partie 8 de la fiche B.
- 4.5.3 Pour faire face au risque de baisse interannuelle (voir 5.2) on ajoutera une marge de sécurité ΔIA égale à :  
 - 3 mètres dans les granites à altérites noyées sur plus de 5 m,  
 - 5 mètres dans tous les autres cas.

Exemple : pompe de débit  $Q = 0.7$  m<sup>3</sup>/h, sur la caractéristique à 8 mois, on lit point k :  $s/Q = 14.55$ . On calcule alors : s à 8 mois pour 0.7 m<sup>3</sup>/h :  $s8m = 14.55 \times 0.7 = 10.18$  m.

ND pour 0,7 m<sup>3</sup>/h = 10,18 + 15 = 25,18 m  
 la pompe sera posée au moins à 26 mètres.

Ici, le forage exemple est dans les granites avec plus de 5 mètres d'altérites mouillées, la pompe sera donc posée à 26 + 3 = 29 m.

REMARQUE IMPORTANTE : lorsque la « droite de JACOB » (Fiche B, graphique 4) a la forme d'une courbe nettement concave vers le haut, à défaut de pouvoir faire un essai de longue durée, on installera la pompe à 2 mètres au-dessus du NDMax calculé.

## 5 ESTIMATION DE LA BAISSSE SAISONNIÈRE DE LA NAPPE

On essayera d'abord d'obtenir une première idée de la baisse saisonnière de la nappe au cours de la saison sèche à partir des ouvrages existant dans la zone, ou en interrogeant les villageois et les puisatiers. Ces premières indications, précieuses, seront comparées aux valeurs moyennes fournies par l'abaque ci-contre, établi empiriquement.

Cet abaque synthétise des mesures de fluctuation de la nappe en fonction de sa profondeur, effectuées dans les formations d'altération du socle granitique dans divers pays de la zone soudano-sahélienne.

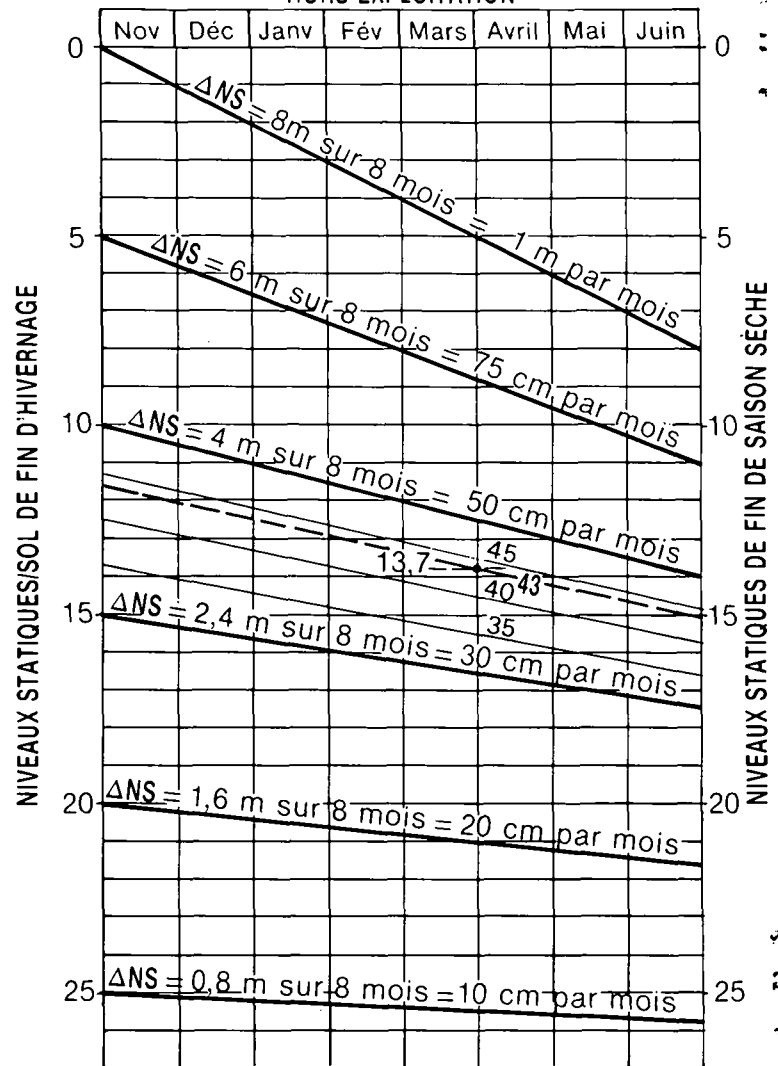
En zone sédimentaire, on négligera ces variations.

### 5.1 EMPLOI DE L'ABAQUE

Placer, sur l'abaque ci-contre, le niveau statique mesuré à la date de l'essai (ici 13,7 m le 29/3/84).

Interpoler la baisse prévisible entre les droites tracées : ceci conduit, dans cet exemple, à une baisse probable de 43 cm par mois. Jusqu'à la fin du mois de juin, début présumé des premières pluies, il reste 3 mois à courir, et l'on peut donc prévoir une baisse complémentaire du niveau statique de :  $43 \text{ cm} \times 3 = 1,3 \text{ m}$  environ (cf. 4.3.2, page 4).

## ABAQUE EMPIRIQUE DE BAISSSE SAISONNIÈRE HORS EXPLOITATION



### 5.2 FLUCTUATION INTERANNUELLE LIÉE A LA SÉCHERESSE

La période de sécheresse, qui a commencé vers les années 1970 en Afrique sahélo-soudanienne, a entraîné, dans de nombreux cas, une recharge insuffisante des aquifères et une baisse interannuelle ( $\Delta IA$ ) des niveaux statiques, notamment dans les aquifères de socle.

Les observations de longue durée sur piézomètres sont hélas très peu nombreuses (cf. CIEH), mais cette « baisse interannuelle » qui se superpose aux fluctuations saisonnières peut, dans certains cas, atteindre 1 mètre par an.

Les observations actuellement disponibles conduisent à retenir une « marge »  $\Delta IA$  de 3 mètres dans les granites avec plus de 5 mètres d'altérites noyées, et de 5 mètres dans les schistes, et dans les granites à faible couverture noyée.

Faute d'indications plus précises, il est donc conseillé par sécurité (4.5.3) d'installer la pompe 3 à 5 mètres plus bas que le niveau dynamique calculé en 4.5.2.

Cette marge devra être réexaminée dans les prochaines années si, comme il est vraisemblable, un nouveau cycle pluvieux apparaissait.

### CONTRÔLE DE L'ENSABLEMENT, MESURE DE LA TACHE DE SABLE

Un forage correctement développé ne doit pas s'ensabler. Pour cela, la teneur de sable dans l'eau ne doit pas dépasser  $1 \text{ cm}^3$  par  $\text{m}^3$  d'eau. On s'en assurera en fin de développement ainsi qu'en fin d'essai, au moyen du test suivant :

Prélever dans un seau 10 litres d'eau à la sortie de la pompe. La faire tourbillonner dans le seau. Attendre l'arrêt de l'eau, et mesurer le diamètre de la tache de sable qui s'est rassemblée au fond.

Ce diamètre ne devrait pas excéder 0,5 centimètre. S'il dépasse 1 centimètre, il y a lieu de procéder à un nouveau développement du forage.

# Fiche A TABLEAU DE MESURES

# ESSAI DE DÉBIT SIMPLIFIÉ POUR FORAGES VILLAGEOIS

N° ..... / FN° .....

Village : .....

## ① CARACTERISTIQUES DU FORAGE

- Profondeur "forée" : ..... m/sol
- Profondeur mesurée : ..... m/sol
- Profondeur socle sain : ..... m/sol
- Profondeur venues d'eau :  
à ..... m ..... m<sup>3</sup>/h  
..... m ..... m<sup>3</sup>/h  
..... m ..... m<sup>3</sup>/h
- Profondeur sommet crépine :  m/sol
- Diamètre crépine : ..... mm
- Débit fin forage :  m<sup>3</sup>/h

## ② DEVELOPPEMENT DU FORAGE

- NS avant développement :  m/sol
- Date : .....
- Durée :  
Air lift : ..... h  
Pompé : ..... h
- Débit :  
Air lift : ..... m<sup>3</sup>/h  
Pompe : ..... m<sup>3</sup>/h
- Turbidité eau après :  
30' : .....  
1 h : .....  
2 h : .....
- NS après développement :  m/sol

## ③ DONNÉES DE L'ESSAI

- Repère : Nature : .....
- Hauteur /sol : ..... m/sol
- NS avant essai :  m/rep
- Profondeur avant essai : ..... m/repère
- Profondeur après essai : ..... m/repère
- Mesures de débit par :  
Tube Pitot :  $\varnothing$  .....
- ou bac jaugé :  litres
- Pompes :  
Type : .....
- Prof. crépine : ..... m/sol
- Air lift double tube :  
Profondeur 2"1/2 : ..... m/rep
- Profondeur 3/4" : ..... m/rep

## ④ MESURES PENDANT L'ESSAI

Région : .....

Date :  Opérateur :

DESCENTE Pompage de : h mn à h mn

Heure	t (mn)	Niveau eau (m)	Rabatt. s (m)	DÉBITS Q		s/Q (m/m <sup>2</sup> /h)	Observations (Manœuvres, eau claire/ trouble, tache sable, etc...)
				Temps (s)	m <sup>3</sup> /h		
	0		← NS				
	3						1 <sup>er</sup> palier
	5						
	10						
	15						
	20						
	30						2 <sup>e</sup> palier
	40						
	60						
	80						
	100						
	120						3 <sup>e</sup> palier
	125						
	130						
	140						
	150						
	160						Observations
	180						
	190						
	200						
	210						
	220						Température eau : ..... Conductivité : .....
	230						
	240						

## REMONTÉE

	t (mn)	Niveau eau					
	5						
	10						
	20						
	30						
	40						
	50						
	60						

# Fiche B INTERPRÉTATION

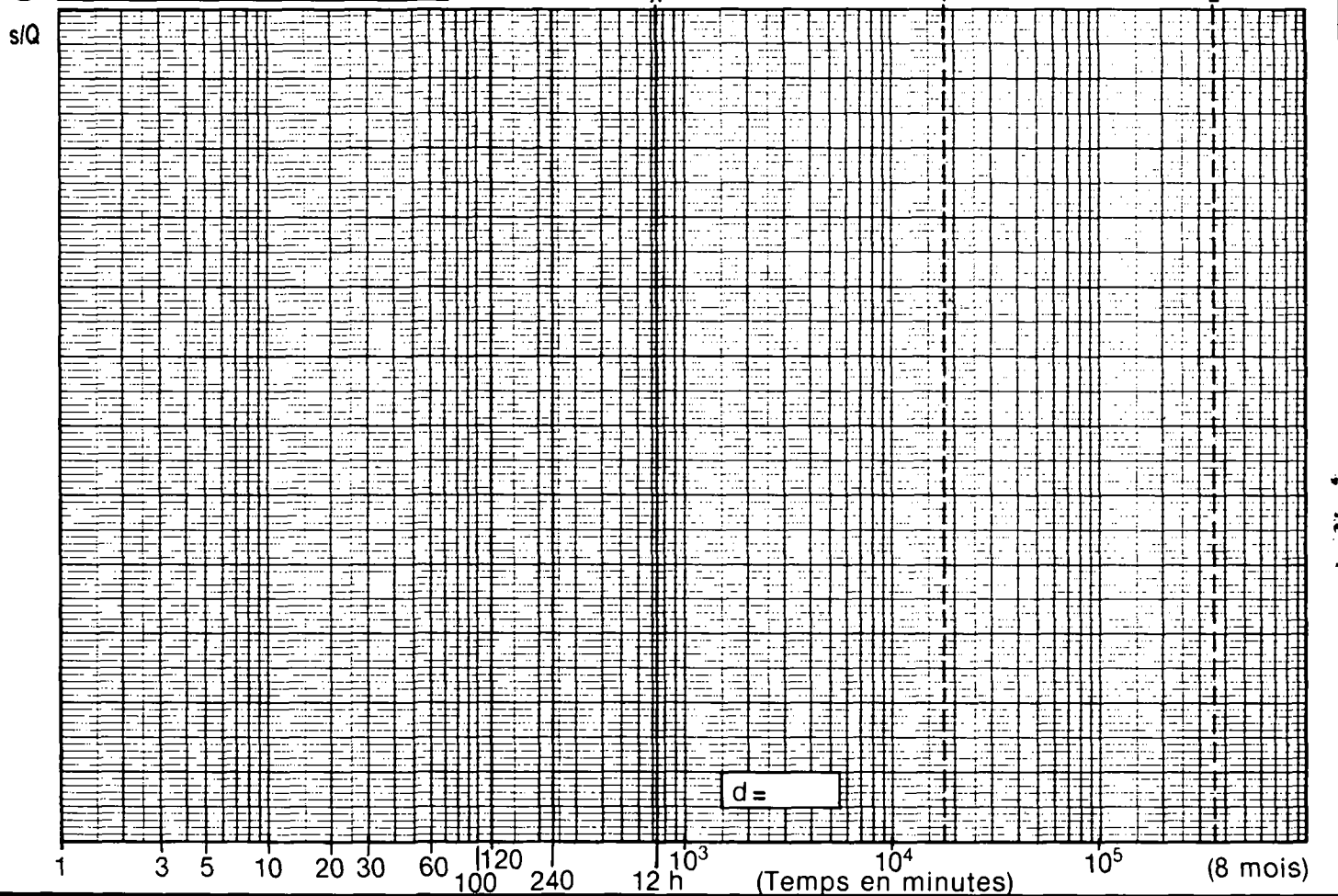
# ESSAI DE DÉBIT SIMPLIFIÉ POUR FORAGES VILLAGEOIS

N° ..... / F .....

Village : .....

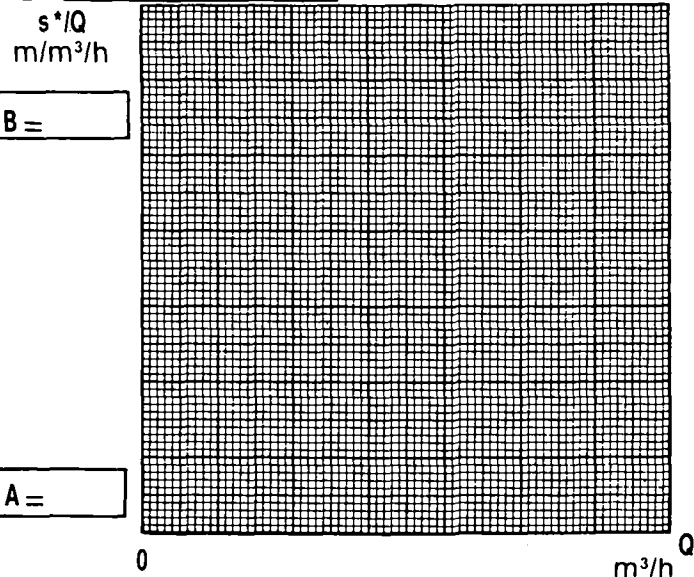
① PROFONDEURS/SOL		Dates	Niveau statique/sol	③ ESSAI DE DÉBIT				DATE : .....	
Forée	m			Palier	Durée	Débit m³/h	Rabatt(s) fin palier	Rabatt s* corrigé 2 h	s*/Q
Tubée	m			1	2 h	Q1 =	s1 =		s1/Q1 =
Sommet crépine	m			2	1 h	Q2 =	s2 =	s2* =	s2*/Q2 =
Premières venues d'eau	m	② NIV. DYNAMIQUE MAX.		3	1 h	Q3 =	s3 =	s3* =	s3*/Q3 =
Toit Socle	m	ND Max : ..... m		Fixé d'après : .....			Etabli par : .....		

## ④ COURBE / ESSAI EXPLOITATION



## ⑥ CARACTERISTIQUES

$s/Q = f(Q)$



## ⑤ CALCUL DU RABATTEMENT MAXIMUM ADMISSIBLE

Niveau statique le : NS =  m  
 (par rapport au sol)  
 Baisse saisonnière estimée :  $\Delta NS =$   m  
 Niveau statique d'étiage NS +  $\Delta NS =$   m  
 Rabattement maximum admissible  
 NDMax - NSE = sMax =  m

## ⑧ SYNTHÈSE : EXPLOITATION POSSIBLE

Pompe, type :			Débit max.
Débit m³/h			
Heures/jour			
Niv. dynamique 8 mois			
Marge sécurité $\Delta IA$			
Profondeur pompe			

## ⑦ A 8 MOIS D'EXPLOITATION

au débit Q, 12 h/24  $s = AQ^2 + BQ$  ou  $Q_{Max} = \frac{\sqrt{B^2 + 4As} - B}{2A}$