



AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE  
A.F.M.E.



BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES  
B.R.G.M.

JR

# LES TESTS « DST » EN GÉOTHERMIE

B. R. G. M.
- 8. JUIN 1984
BIBLIOTHÈQUE



SERVICE PUBLIC GÉOTHERMIE  
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Rapport du B.R.G.M.

**84 SGN 159 SPG**



AGENCE FRANÇAISE  
POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE  
A.F.M.E.

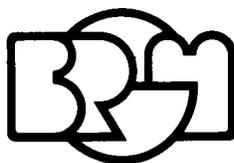


BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES  
B.R.G.M.

# LES TESTS « DST » EN GÉOTHERMIE

par

Ph. MAGET



**SERVICE PUBLIC GÉOTHERMIE**  
**SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL**

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

Rapport du B.R.G.M.

**84 SGN 159 SPG**

Mai 1984

## S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
1 - PREAMBULE .....	1
2 - CARACTERISTIQUES D'UN TEST "DST" .....	2
2.1. METHODE .....	2
2.2. TESTS PETROLIERS .....	3
3 - APPORT DES TESTS "DST" EN GEOTHERMIE .....	4
3.1. TESTS DES FORAGES PETROLIERS .....	4
3.2. TESTS SUR FORAGES GEOTHERMIQUES .....	7
4 - CONDITIONS D'UTILISATION .....	11
4.1. LIMITES DE VALIDITE .....	11
4.2. APPLICATIONS .....	11

### ANNEXES

I - Principe du test "DST"

II - Programme type d'exploration par test "DST"

## 1 PREAMBULE

Les tests dits "DST" (Drillstem Test, autrement dit "test par tiges de forage") sont des opérations destinées à déterminer les caractéristiques hydrodynamiques d'un "réservoir" (réservoir d'hydrocarbure ou formation aquifère) et qui sont : la pression statique de la nappe et la perméabilité du terrain.

En outre, au cours d'un test, un échantillon du fluide est recueilli aux fins d'analyse éventuelle et la température de gisement est mesurée.

En recherche pétrolière, ce système est couramment employé dans les sondages d'exploration, en trou ouvert en cours de forage ; ce sont les "tests de formation", dits en "open hole". On trouvera en annexe I les schémas résumant les principes du DST et du dépouillement des enregistrements de pression.

Les DST sont des opérations que l'on peut qualifier de "rustique" en raison :

- de la nature du matériel (recherche de la robustesse et de la fiabilité),
- de son utilisation (sur un temps très court, par sécurité entre autres),
- de la qualité des informations qu'ils apportent.

En regard des essais de production réalisés en géothermie (sous colonne de production, sur toute la hauteur de l'aquifère, pendant un temps relativement long et à fort débit), les DST paraissent trop sommaires et peu fiables, d'où la conclusion un peu trop hâtive qu'un DST n'est pas représentatif. Ceci explique, du moins partiellement, l'abandon de cette méthode pour l'exploration du Lusitanien à Coulommiers et surtout à Meaux.

Cette note a pour but de redéfinir et de reclasser le DST dans son cadre, et de préciser son utilisation en géothermie d'une part en donnant des exemples prouvant son intérêt, d'autre part en définissant les conditions et les limites d'utilisation.

## 2 CARACTERISTIQUES D'UN TEST "DST"

On verra successivement les caractéristiques liées d'une part à la méthode, d'autre part à l'utilisation qui est faite en recherche pétrolière. Pour chaque point, seront exposées les conditions d'utilisation en géothermie.

### 2.1 METHODE

#### - Hauteur de test

La hauteur d'un test, sous "packer", est limitée -en moyenne - à 30 m. Elle n'intéresse donc pas la totalité d'un aquifère dans de nombreux cas. Une extrapolation des résultats est alors nécessaire à tout l'aquifère en se basant sur les diagraphies. Or les diagraphies n'indiquent que la lithologie et la porosité (et non la perméabilité). L'extrapolation nécessite donc une suffisamment bonne connaissance de la géologie. Certaines formations se prêteront mieux que d'autres pour l'interprétation et pour l'utilisation des DST, soit par leur épaisseur, soit par leur homogénéité reconnue.

#### - Durée du test

Le temps d'ouverture est très court : pas plus d'une heure, en général. De ce fait, le test ne draine qu'un faible volume de terrain et ne peut mettre en évidence les variations lointaines de la perméabilité.

Un DST est donc déconseillé :

- en milieu irrégulièrement fracturé (le test peut ne drainer qu'une fracture dans une formation compacte, par exemple),
- dans des secteurs compartimentés par faille (détermination nécessaire des conditions aux limites par un essai de longue durée).

Le DST doit être réservé aux formations homogènes et continues.

- Fluide recueilli

La boue de forage perturbe la nature du fluide de la formation et colmate plus ou moins celle-ci. La perméabilité calculée sur un enregistrement de test a donc tendance à être sous-estimée. Ce défaut est d'autant plus accentué que le débit de la formation est faible.

Dans une interprétation, le risque d'erreur est diminué en utilisant la courbe de remontée (cf. annexe I.2), et non la courbe de débit pendant lequel le décolmatage a le plus de chances de se produire.

A propos de colmatage, indiquons le risque existant pour les formations argilo-sableuses non consolidées.

- Débit

La conception de l'appareil (crépines, duses,...) limite le débit du fluide recueilli, ce qui gêne l'interprétation du DST pour les formations très fortement productrices.

En outre, si l'arrivée d'eau est trop brutale, la pression statique est rapidement atteinte pendant le temps d'ouverture et l'interprétation de l'enregistrement devient difficile si ce n'est impossible (cf. Annexe I-4).

Un DST est donc inadéquat pour la détermination d'une très forte perméabilité. Cependant, en géothermie, il existe des sondes à temps de réponse très rapide qui modèrent ce handicap.

## 2.2 TESTS PETROLIERS

Pour les DST effectués sur les forages d'exploration pétrolière, les 4 points pré-cités sont amplifiés. De plus, des facteurs liés à l'objectif pétrolier accentuent les difficultés d'interprétation ; il s'agit essentiellement de :

- la position du test, à la partie sommitale des formations "réservoirs", laquelle n'est pas forcément la plus représentative de l'aquifère. C'est le cas du Dogger dans le Bassin Parisien, par exemple.

L'extrapolation doit tenir compte de cette hétérogénéité, et non être faite par simple règle de trois.

- la durée du test : outre la durée excessivement courte (parfois (10 minutes seulement) il arrive trop souvent, qu'en l'absence d'indice, le test soit interrompu prématurément -pour l'hydrogéologue- et la remontée en pression absente.

Ces remarques prennent toute leur importance dans le travail d'une synthèse régionale sur les ressources lorsque seules sont disponibles les données pétrolières. C'est le cas, principalement, de la synthèse effectuée en 1976 pour le Bassin Parisien.

Toutes ces caractéristiques "négatives" tendraient à condamner l'interprétation et l'utilisation des DST en géothermie. Il ne doit rien en être. Le chapitre suivant nous montrera que -moyennant des précautions et dans des limites bien définies- l'apport des DST est très positif.

### 3 APPORT DES TESTS "DST" EN GEOTHERMIE

L'apport -positif, donc- des DST dans la détermination du potentiel géothermique est loin d'être négligeable dans les 2 secteurs d'étude :

- utilisation des résultats de tests de forages pétroliers dans les études régionales,
- utilisation de la méthode du DST en exploration sur les forages géothermiques.

Nous allons le voir sur quelques exemples.

#### 3.1 TESTS DES FORAGES PETROLIERS

La carte de transmissivité du Dogger dans le rapport "Potentiel géothermique du Bassin Parisien", publié en 1976, a été établie presque exclusivement à partir de données pétrolières(1) (cf. carte qui suit). Depuis, de nombreux forages géothermiques ont été réalisés. Les

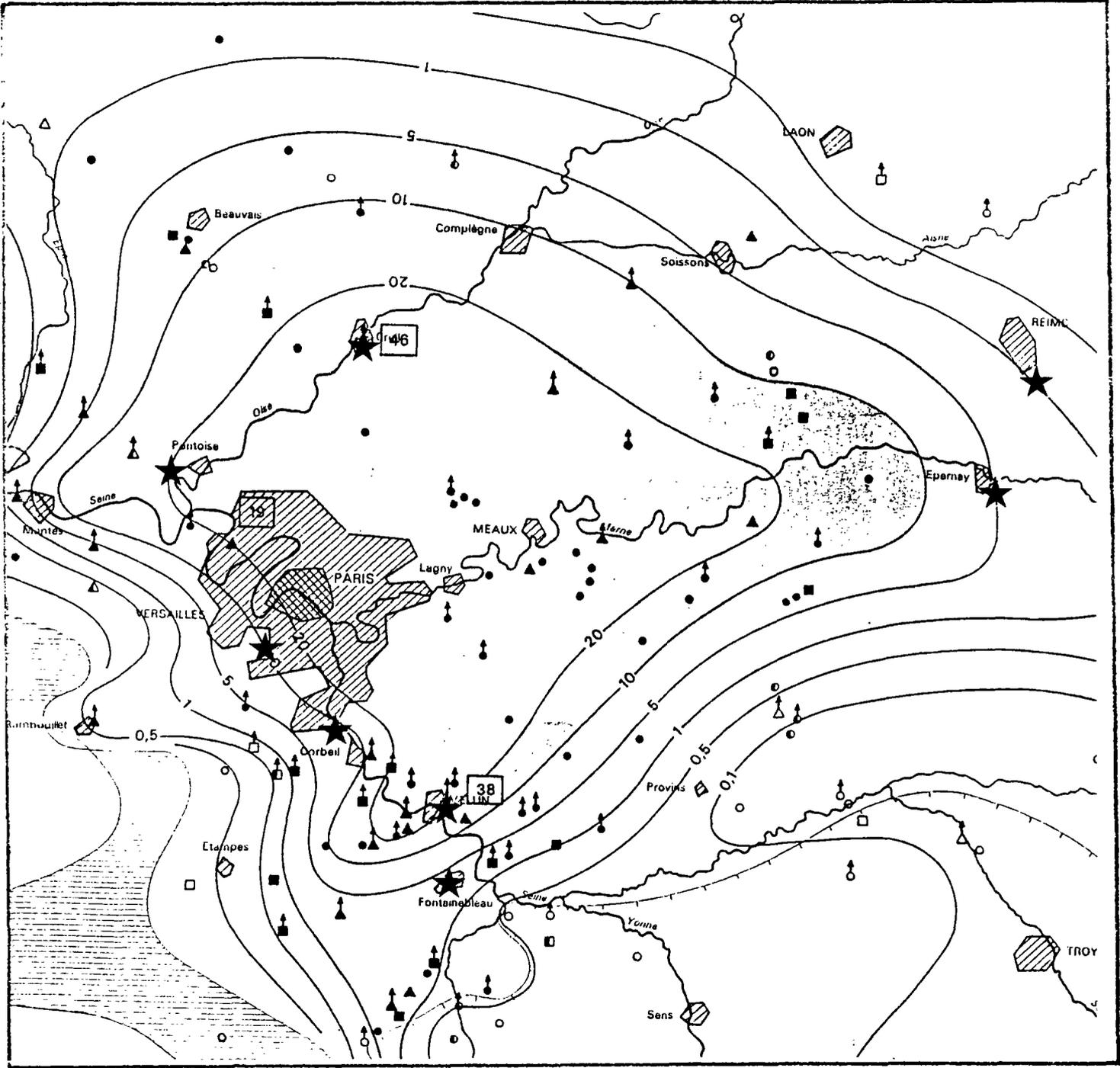
---

(1) Il n'existait alors que 3 résultats d'opérations géothermiques : Carrières-sur-Seine, Melun et Creil.

POTENTIEL GÉOTHERMIQUE DU BASSIN PARISIEN

DOGGER

TRANSMISSIVITÉ



10

Courbe supposée d'égal transmissivité du réservoir principal (en darcy. mètres)

20

Transmissivité (d. m) calculée d'après un essai portant sur toute la hauteur de l'aquifère sur des puits d'exploitation géothermique



Principaux sites géothermiques cités dans le texte

Contrat DGRST  
n° 74.7.0990



valeurs de transmissivité effectivement calculées sont comparées à celles prévisionnelles de la carte sur le tableau suivant :

Opération	Transmissivité (darcy x mètres)	
	réelle	carte
Cergy	10-23	20
Chatenay-Malabry	9-18	10
Evry	7-16	5 à 10
Fontainebleau	2,7-5,6	1 à 5
Epernay	4,2-5,9	5
Reims	Très faible	0,5 à 1
Au Lusitanien : Provins	Négligeable	< 1.

Par contre, des écarts importants sont noté pour d'autres forages, écarts que l'on pourrait -a postériori- expliquer par les remarques du chapitre précédent, dont :

- Orly, Ris-Orangis : (fractures drainantes mises en évidence par plusieurs mesures),
- Coulommiers, Meaux, agglomération nord-est de Paris où la transmissivité réelle est bien supérieure à celle prévu de 20 d.m.

Ces résultats montrent la limite d'utilisation des DST, en particulier en ce qui concerne les zones à très forte productivité, où ils ne laissaient pas présager de telles valeurs de transmissivité. Les DST semblent, par contre, correspondre presque parfaitement pour les zones à productivité relativement modérée (transmissivité de 1 à 20 d.m).

Les réserves émises dans la synthèse de 1976, avec leurs conséquences, retrouvées dans les avant projets qui ont suivi, doivent donc maintenant être nuancées. Et on s'aperçoit que le coefficient multiplicateur observé sur les stations géothermiques très

productrices existant alors (Melun, Creil), par rapport aux DST des forages pétroliers(1), ne doit pas être conservé dans les zones périphériques de l'aquifère du Dogger.

Les mêmes constatations ne peuvent être faites pour les aquifères carbonatés du Bassin Aquitain et de l'Alsace : connaissant les limites d'utilisation des résultats de DST(2), il n'a pas été élaboré de cartes de transmissivité pour ces formations. Il doit en être de même pour les calcaires du Couloir Rhodanien(3).

### 3.2 TESTS SUR FORAGES GEOTHERMIQUES

Plusieurs DST ont été exécutés en géothermie en vue de reconnaître le potentiel d'aquifères dans des forages d'exploration. Dans le Bassin Parisien, ce sont ceux de :

- Cergy 1 : au Dogger,
- Melleray 1 : 2 tests au Trias(4),

dont les résultats ont pu être confrontés à ceux obtenus par des essais de production complets sur le même puits.

- 
- (1) Transmissivité réelle 2 à 3 fois plus élevée que celle évaluée à partir des DST des forages pétroliers (environs de Melun et de Meaux, par exemple).
  - (2) Cas de calcaire compact fracturé, de formations compartimentées par failles,...
  - (3) Les DST de forages pétroliers sont pratiquement tous positifs, alors que les forages géothermiques sont, à ce jour, tous des échecs. Ici, les "réservoirs" décelés par les forages pétroliers ne sont pas liés à la lithologie mais aux conditions structurales.
  - (4) Un autre test a été exécuté au Dogger, mais, ici, aucune comparaison ne peut être faite, faute de captage existant.

Les résultats sont brièvement exposés dans le tableau qui suit :

Forage	DST :			Essai de production :	
	kh	T <sub>extrap.</sub>	k	T	k
Cergy 1 1 bis	11,2	22,4	0,4	23	0,73
Melleray 1 Test n° 2	1,56	10,2	0,12	15,5	0,19
Test n° 3	4,5	13,7	0,17		

où :

kh = Transmissivité du Test (darcy. x mètres)

{ k = perméabilité  
h = hauteur utile potentielle.

T = transmissivité de l'aquifère (en darcy. x mètres),

T<sub>extrap.</sub> = transmissivité extrapolée à partir du DST.

Les détails sont présentés sur les 2 pages suivantes.

Ces résultats semblent donc tout à fait cohérents et l'on remarque que, pour Cergy, l'écart relatif est inférieur aux variations régionales observées à l'échelle du doublet.

Cependant, il faut rappeler que ces tests ont été réalisés avec beaucoup de précautions, d'une part sur le choix de la sonde de mesure, d'autre part en effectuant un jeu précis de diagraphies qui permet d'assurer le maximum de chances de succès du test (ancrage du packer,...) et d'interpréter correctement les résultats.

CERGY

TEST "DST" ET ESSAI DE PRODUCTION AU DOGGER

Cergy 1 :

Test DST :  $kh = 11,2$  d.m

. avec  $h = 10,1$  m (d'après mesures sur carottes et diagraphies pour porosité supérieure à 18 % et perméabilité reconnue).

=>  $k = 1,1$  d (cf. rapport "essais").

. avec  $h = 28$  m (niveaux poreux, d'après diagraphies, sans seuil de porosité)

Extrapolation à l'aquifère ( $h$ . poreux = 56 m) :

$$T = 22,4 \text{ d.m.}$$

Cergy 1 bis : ("side-track")

Essai de production :

$$T = 23,37 \text{ d.m.} \text{ (cf. rapport de fin de travaux)}$$

avec  $h$  mesuré au débitmètre: 32 m =>  $k = 0,73$  d., soit un écart de 35 %.

A remarquer que sur GCY.1<sup>bis</sup>, la hauteur correspondant à celle du test de GCY.1 est de 11 m, donc très proche des 10,1 m évalués.

Cergy 2 :

Essai de production :

$$T = 9,9 \text{ d.m.}$$

avec  $h$  mesuré au débitmètre = 19,5 m =>  $k = 0,5$  d.

MELLERAY

TESTS "DST" ET ESSAI DE PRODUCTION AU TRIAS

GMY-1 :

Test n° 2 : kh : 1,56 d.m.

avec h = 12,7 m (d'après Microlog) → k = 0,12 d.

extrapolation à la totalité de l'aquifère où  $h_t = 83$  m :

$$T = 10,2 \text{ d.m.}$$

Test n° 3 : kh : 4,5 d.m.

avec h = 27,2 m (d'après Microlog) → k = 0,17 d.

extrapolation à la totalité de l'aquifère :

$$T = 13,7 \text{ d.m.}$$

Essai de production

$$T = 15,47 \text{ d.m.}$$

avec h = 83 m (grès poreux, d'après Microlog) → k = 0,19 d.

GMY-2 :

$$T = 13,2 \text{ d.m.}$$

## 4 CONDITIONS D'UTILISATION

Toutes ces observations tendent à montrer que les DST sont des outils précieux dans l'évaluation du potentiel géothermique d'un site ou d'une région. Il faut cependant être bien conscient des limites du DST et dans son interprétation et dans son utilisation.

### 4.1 LIMITES DE VALIDITE

Rappelons qu'un DST ne peut apporter de résultats significatifs que si :

- la formation testée est :
  - . continue du point de vue faciès,
  - . de bonne cohésion,
  - . sans fractures accidentelles dominantes,
  - . non compartimentée.

Le risque d'erreur sera d'autant plus grand qu'une ou plusieurs de ces conditions sont absentes ou inconnues.

- La perméabilité n'est ni trop forte (réactions de l'enregistrement et pertes de charge), ni trop faible (colmatage, fluide non représentatif). Hors de ces limites, si les valeurs sont sous-estimées, il n'en demeure pas moins que la qualité de l'aquifère est bien mise en évidence.

### 4.2 APPLICATIONS

On peut définir les domaines d'application du DST dans les 3 stades d'étude suivants en géothermie :

#### - Etude régionale

Les résultats de DST sur forages pétroliers sont très précieux tant que l'on reste dans les limites fixées précédemment, ce qui exige une sévère analyse critique du point de vue hydrogéologie.

La majorité des aquifères du Bassin Parisien se prête bien à cette utilisation des DST. Par contre, il n'en est pas de même

dans le Bassin Aquitain, ni surtout dans le Sud-Est (sable, calcaire karstifié, fossés tectoniques faillés,...).

- Exploration

Rien ne vaut un essai de longue durée sous colonne de production, à débit élevé. Bien sûr. Mais dans le cas où un tel essai se révèle impossible techniquement, administrativement ou financièrement, un DST constitue un outil tout-à-fait acceptable pour l'exploration d'une formation supposée aquifère, toujours si l'on reste dans les mêmes limites que précédemment et si l'on utilise un matériel bien approprié, dans le cadre d'un programme complet (on trouvera en Annexe II un programme type proposé plusieurs fois en géothermie).

Un DST identifiera donc une formation aquifère, et ses résultats seront d'autant plus fiables que la géologie est connue. Pour les très fortes productivités, on sait que le DST a tendance à marquer par défaut.

Le DST serait donc un outil approprié pour reconnaître un aquifère vers ses limites et en se greffant sur une opération à objectif différent (forage pétrolier ou autre) dans la mesure où un essai de production est inconcevable.

- Opération économique

Les résultats de DST (de forages pétroliers, géothermiques,...) sont très utiles au stade d'une étude sommaire de faisabilité qui peut déboucher, dans le cas favorable, sur un avant-projet. Mais les valeurs obtenues ne peuvent être utilisées pour fixer le bilan d'un projet (puissance géothermale disponible, programme d'équipement,...), sauf, bien sûr, si l'on ne possède aucune autre donnée. Dans un tel cas, le projet devrait avoir un caractère d'exploration.

ANNEXES

## ANNEXE I

### PRINCIPE DU TEST "DST"

- 1 Déroulement d'un test
  - phase 2 :  $\equiv$  pompage
  - phase 3 :  $\equiv$  remontée en pression
  
- 2 Diagramme d'enregistrement de pression
  - Cas théorique correspondant aux 4 phases du déroulement.
  
- 3 Enregistrement de pression d'un test
  - cas réel
  - représentation sommaire d'un résultat de test
  
- 4 Schéma d'enregistrement sur :
  - une couche très productive
  - une formation non productive.

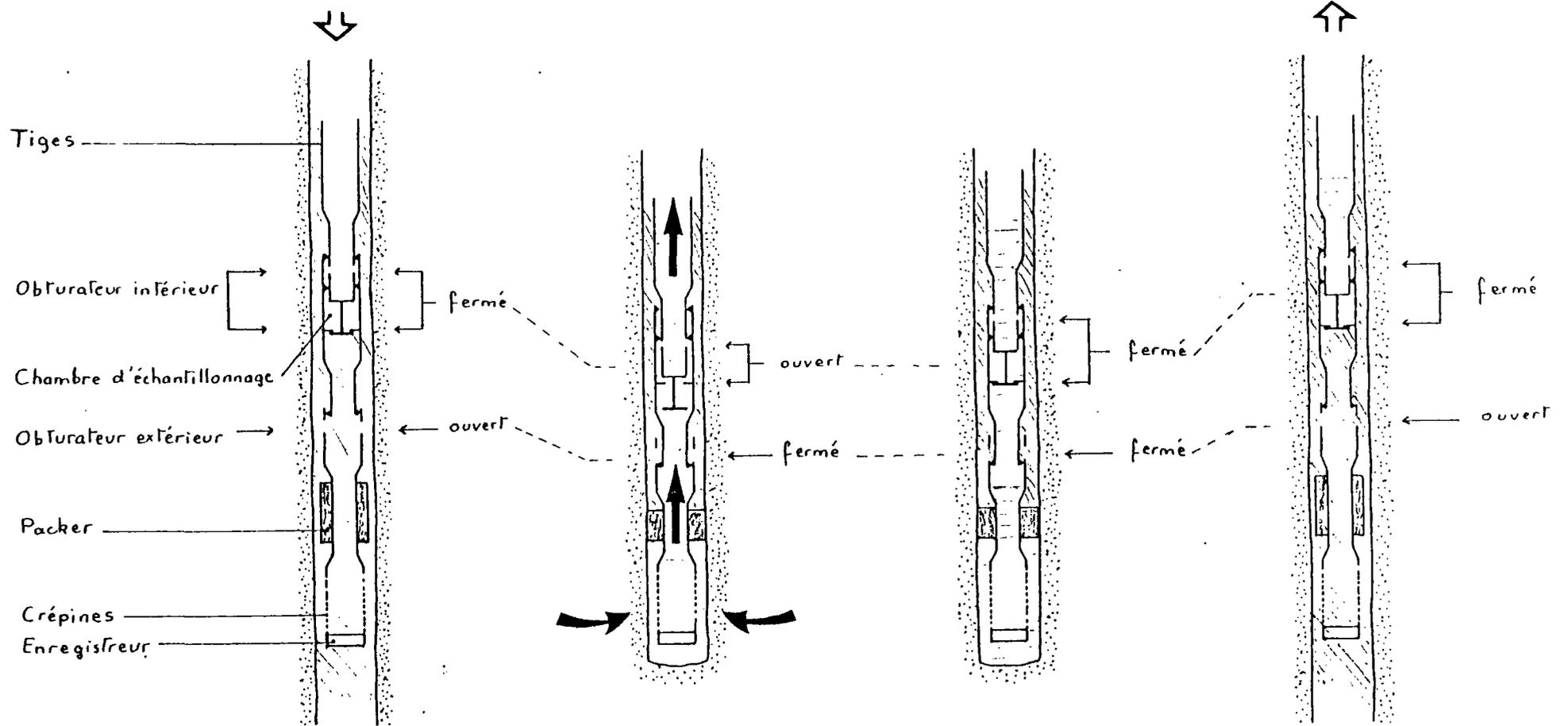
# DEROULEMENT D'UN TEST

① Descente

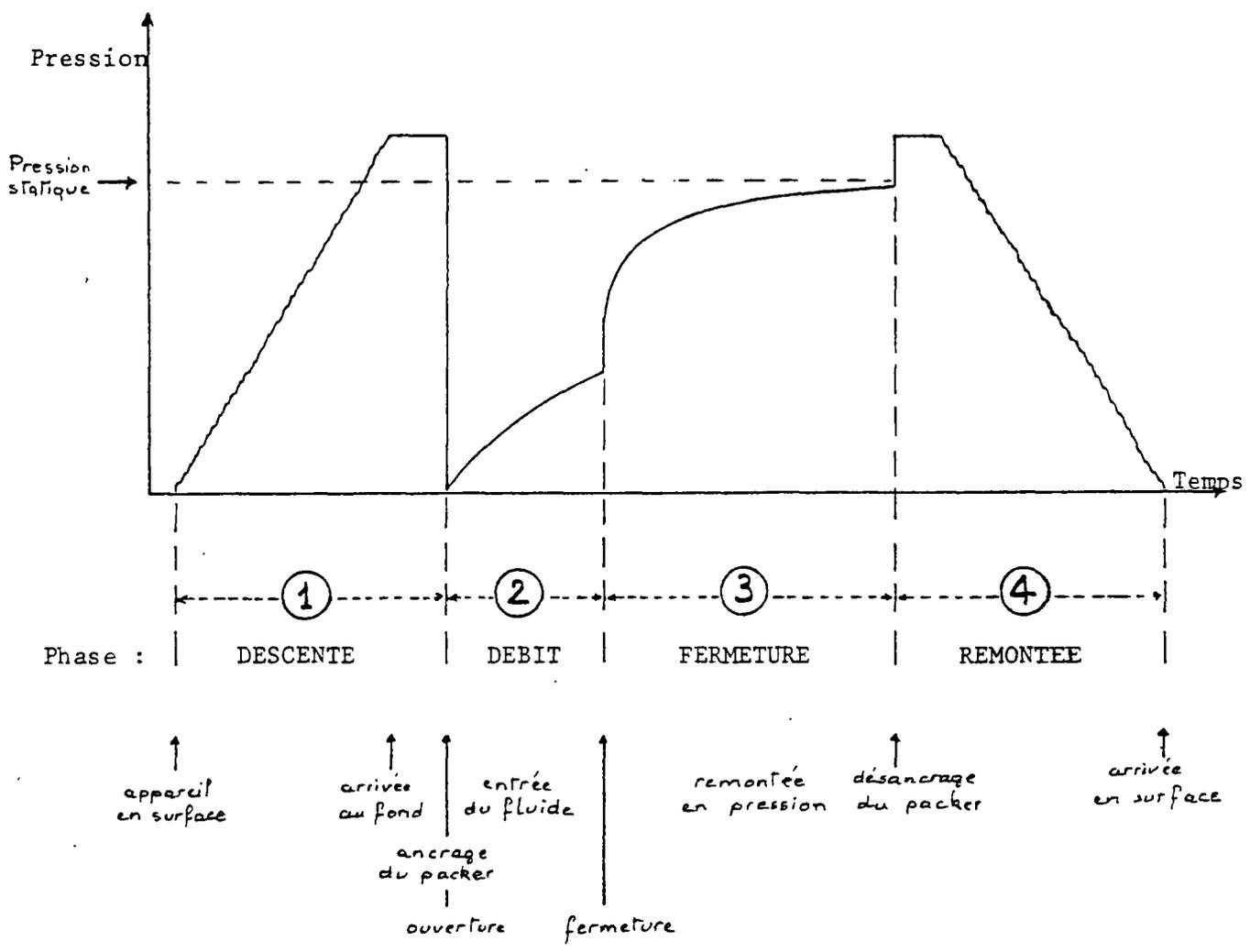
② Débit

③ Fermeture

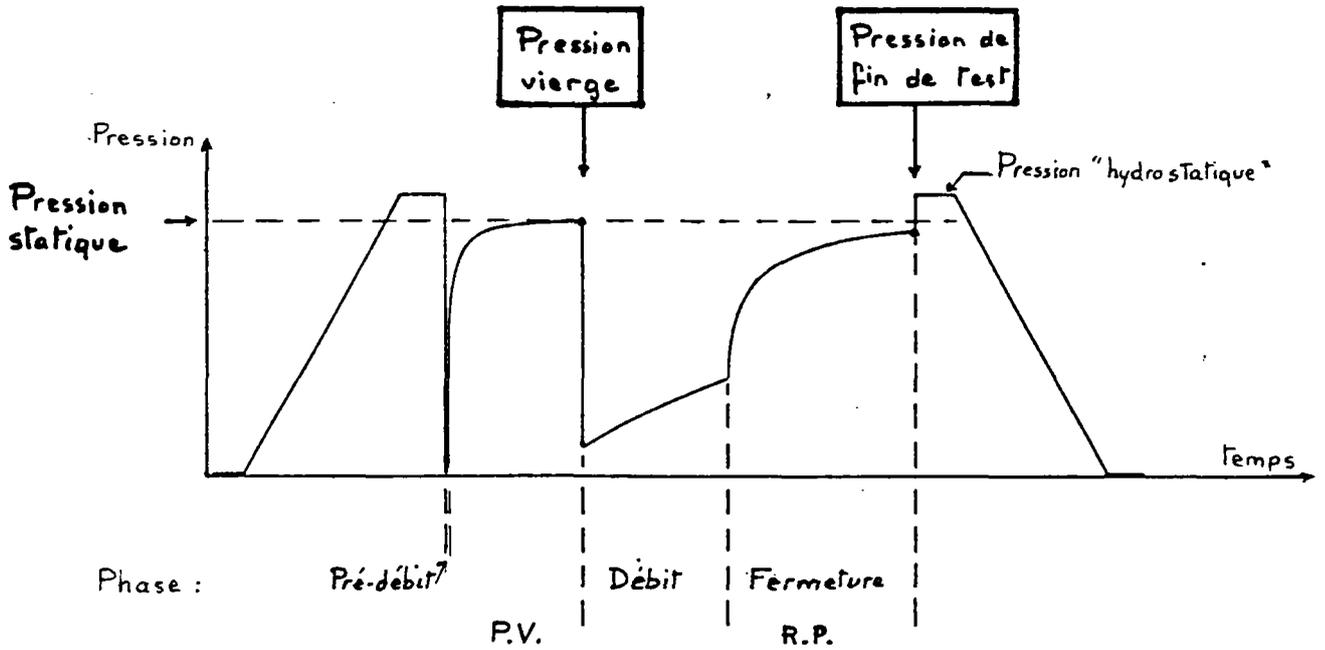
④ Remontée



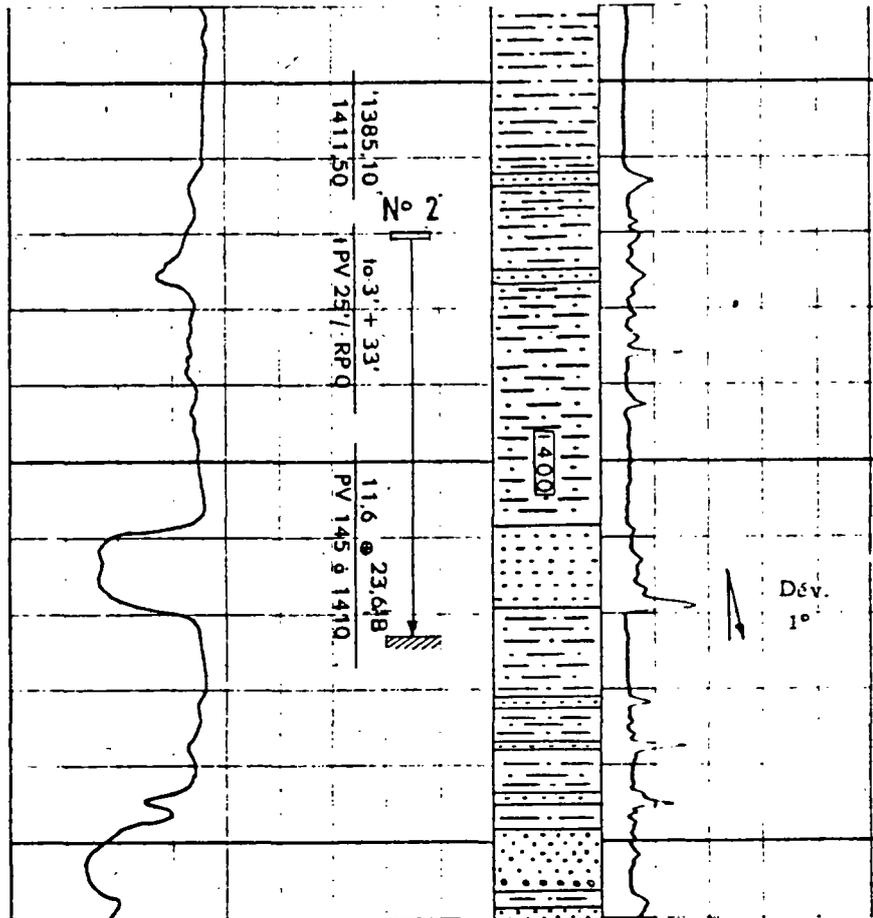
# DIAGRAMME D'ENREGISTREMENT DE PRESSION



# ENREGISTREMENT DE PRESSION D'UN TEST

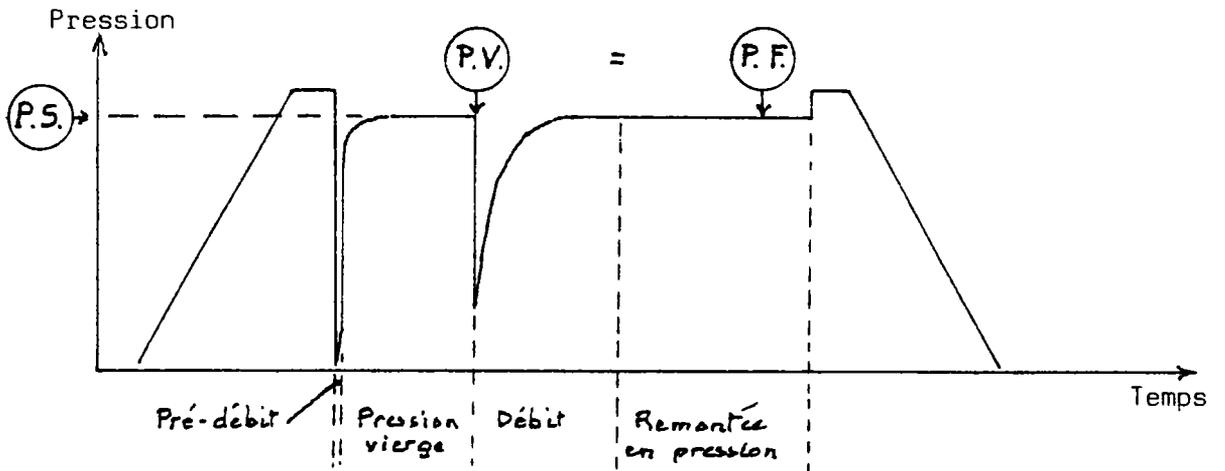


Présentation d'un résultat de test →

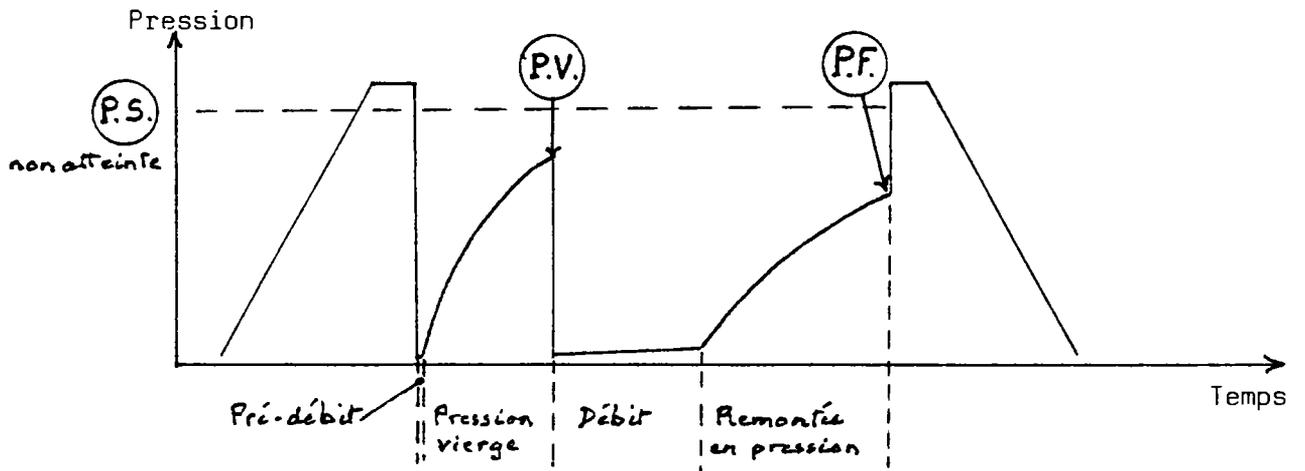


SCHEMA D'ENREGISTREMENT

SUR COUCHE TRES PRODUCTIVE



SUR FORMATION NON PRODUCTIVE (Test sec)



ANNEXE II

PROGRAMME TYPE D'EXPLORATION  
PAR TEST "DST"

## DESCRIPTION DES OPERATIONS

Pour répondre au but recherché (détermination de la perméabilité et de la pression statique), une opération se déroulera de la façon suivante :

### 1 Exécution d'une diagraphie "F.D.C. - GR." (Formation Density Compensated - Gamma Ray) qui donne :

- la porosité de la formation,
- la présence -ou non- d'argile,
- le calibre du trou (diamètre incorporé à cette sonde).

En "trou ouvert", cette opération est indispensable pour déterminer le niveau d'ancrage du "packer"\*. Un mauvais ancrage entraîne, en effet, l'échec du test (ce qu'on ne peut se permettre en raison du coût de l'opération du test) et augmente le risque d'incident.

Cette opération permet également de connaître exactement la localisation des couches productrices et leur porosité.

Toutefois, cette phase s'avèrerait facultative si le trou de forage est tubé jusqu'au sommet de la formation à tester, l'ancrage se faisant alors dans le tube.

Le programme ne peut donc être fixé qu'une fois connu celui du forage sur lequel est effectué le test.

### 2 Exécution du test

Un test devra être effectué dans un but géothermique, c'est-à-dire qu'il doit apporter des renseignements plus représentatifs et plus précis

---

\* Système isolant la formation à tester de la colonne de boue du trou de forage.

que ceux obtenus à partir des mesures programmées en recherche pétrolière :

- plus représentatifs :

Un test se déroulera au niveau du réservoir et non à la partie sommitale comme c'est le cas en recherche pétrolière.

- plus précis :

Le choix d'un appareillage spécial permettra d'obtenir des données très précises sur :

- . les pressions, du fait du délai de réponse très rapide des enregistreurs (lors d'arrivées d'eau trop rapides -ce qui est prévisible au niveau même du réservoir- les enregistrements classiques sont ininterprétables),
- . les températures, du fait de la sensibilité de l'appareil (qui ne mesurera pas la température du container...) et de l'enregistrement pour vérifier la stabilisation.

Le matériel employé sera une sonde de type FLOPETROL qui comporte des enregistreurs de précision. Il s'agit d'une sonde à quartz à mémoire électronique et batterie incorporée. Les mesures de pression et température sont enregistrées toutes les 30 secondes ; le décodage est automatique après la remontée du train de test.

#### DEVIS ESTIMATIF

Les prix indiqués ci-après se rapportent à l'exécution d'un test sur la base des tarifs de 1983, augmentés de 10 % pour 1984, taxes comprises, et dans les conditions actuelles offertes par les sociétés de service pour une opération réalisée vers le centre du Bassin Parisien. Ils correspondent à des tests pour des formations situées à des profondeurs de l'ordre de 1500 m, mais dans des forages d'exploration devant atteindre des profondeurs de 2000 - 2500 m.

- Diagraphie F.D.C. - GR).....	40 000 F T.T.C.
(Dresser Atlas ou Schlumberger)	
- Halliburton :	
Train de test, packer, enregistreur élémentaire,	
mise en oeuvre.....	35 000 F T.T.C.
- Flopétrol :	
Enregistreur de précision (pressions et température).....	30 000 F T.T.C.
- Ingénierie :	
Préparation et organisation de l'opération,	
contrôle de l'opération,	
interprétation des résultats,	
rapport,	
(unité d'oeuvre, mission et déplacement).....	35 000 F T.T.C.
- Société de forage :	
Immobilisation de l'appareil (36 heures) - type GB 800	
ou GC 500 pour forage à plus de 2000 m,	
manoeuvres de remontée - descente (10 h),	
imprévus (2 h),	
Total : 2 jours.....	125 000 F T.T.C.
- Assurance couvrant le coût d'un sinistre éventuel.....	20 000 F T.T.C.
TOTAL.....	<u>285 000 F T.T.C.</u>
	=====
Arrondis à :	300 000 F T.T.C.