

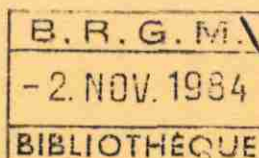
IR

ENS - LYON GERLAND

ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE D'UN PROJET DE STOCKAGE CONFINÉ EN NAPPE PHRÉATIQUE

1

RAPPORT DE SYNTHÈSE



SOLEXPERT INTERNATIONAL

BUREAU DE RECHERCHES
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

Département Géothermie

Département EAU

Service Géologique Régional

Rhône Alpes

CABINET MORVAN

Rapport du B.R.G.M.

84 SGN 281 EAU-GTH

Voir aussi : 84. SGN. 214. Eau - fascicules 4 et 5



ENS - LYON GERLAND

ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE D'UN PROJET DE STOCKAGE CONFINÉ EN NAPPE PHRÉATIQUE

1

RAPPORT DE SYNTHÈSE

par

J.Y. AUSSEUR, G. EVERS, M. OLIVE, J.-M. LEJEUNE, P. MORVAN

M. RECAN, J.-M. ROYER, J.-P. SAUTY

SOLEXPERT INTERNATIONAL

**BUREAU DE RECHERCHES
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

CABINET MORVAN

**Département Géothermie
Département EAU
Service Géologique Régional
Rhône Alpes**

Rapport du B.R.G.M.

84 SGN 281 EAU-GTH

Juillet 1984

RESUME

L'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie a confié au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, à Solexpert International et au Cabinet MORVAN l'étude de la faisabilité technique et économique d'un pilote de stockage intersaisonnier d'eau chaude, à réaliser sur le futur site de l'Ecole Normale Supérieure à Lyon Gerland.

Le présent rapport de synthèse décrit le cadre et le déroulement de l'étude ; il expose les principaux résultats obtenus, que l'on pourra étudier en détail dans chaque rapport spécialisé.

Cette étude de faisabilité a comporté :

- . une étude hydrogéologique du site : sondage, lithographie, essais de perméabilité, suivi des niveaux et températures, analyses granulométriques, analyses chimiques (rapport BRGM 84 RP 007 RHA) ;

- . une étude hydrothermique pour dimensionner le stock et son équipement : simulation des écoulements dans le stock et la nappe, simulation thermique de l'ensemble de l'installation -sous-sol et installation de surface couplés- (rapport BRGM 84 SGN 214 EAU) ;

- . une étude des réseaux de chauffage et distribution et de leur couplage au stock, ainsi que l'étude des matériaux d'isolation (rapport Solexpert 136068/22325 et note du Cabinet Morvan du 3 mai 1984) ;

- . une étude économique tirant les conclusions sur le bilan financier de l'opération (Annexe au présent rapport).

SOMMAIRE

	pages
1. <u>INTRODUCTION : OBJET DE L'ETUDE</u>	1
1.1. <u>Principe du procédé</u>	1
1.2. <u>Le prototype ENS - Lyon Gerland</u>	4
1.3. <u>Programme d'étude</u>	5
2. <u>ETUDE HYDROGEOLOGIQUE</u>	7
3. <u>BILAN THERMIQUE DE L'INSTALLATION DE SURFACE</u>	8
4. <u>ETUDE HYDROTHERMIQUE</u>	9
5. <u>ISOLATION DU STOCKAGE ET COUPLAGE DES RESEAUX</u>	11
6. <u>ECONOMIE DU PROJET</u>	14
7. <u>CONCLUSIONS GENERALES</u>	18

ANNEXE 1 : ETUDE ECONOMIQUE

ANNEXE 2 : ETUDE GEOCHIMIQUE

1. INTRODUCTION : OBJET DE L'ETUDE

1.1. Principe du procédé

Le chauffage des bâtiments par pompe à chaleur sur eau de nappe, conduit à gaspiller la ressource hydraulique si les eaux sont rejetées dans les réseaux de surface. La réinjection par un second forage maintient la ressource mais provoque un refroidissement du réservoir. Enfin, le fonctionnement en doublet, avec recharge de calories en été élimine ces inconvénients ; on peut même ainsi parvenir à stocker l'énergie.

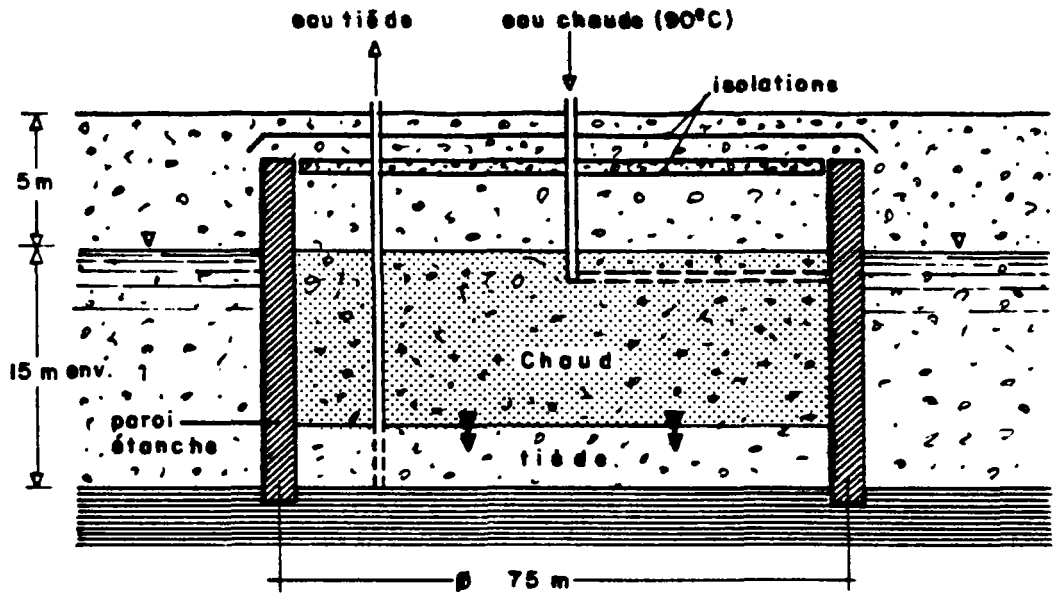
Cependant, le stockage intersaisonnier par injection d'eau dans un aquifère à l'aide d'un forage puis récupération après un délai de plusieurs mois n'est possible que si l'écoulement naturel de la nappe est relativement lent, ce qui, souvent, n'est pas le cas dans les aquifères situés à faible profondeur : la bulle chaude dérive avec l'écoulement de la nappe et se trouve excentrée au moment de la reprise, et même dans les cas extrêmes, hors de la zone d'appel du forage.

Le procédé de stockage en nappe, à l'intérieur d'une enceinte confinée par des parois étanches (fig. 1.1) autorise le stockage d'eau chaude dans des nappes à écoulement rapide (vitesse de Darcy de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres par an), grâce à l'élimination de la majeure partie des pertes par advection. En effet, l'eau chaude évolue en circuit fermé entre le volume de stockage et l'échangeur de la boucle de distribution de surface; on élimine ainsi les risques inhérents à un stockage par doublet (repompage d'eaux froides injectées en amont et dérive de l'eau hors du site). Les seules pertes thermiques sont celles qui résultent de la conduction, horizontalement à travers les parois et verticalement vers les couches sous-jacentes et sus-jacentes.

D'autre part, la circulation dans le réservoir est verticale, avec une interface horizontale entre les portions chaudes et froides. Ce procédé permet de situer le stock chaud dans la partie haute, ce qui lui assure une stabilité vis-à-vis des phénomènes de densité, que n'a pas le stockage avec

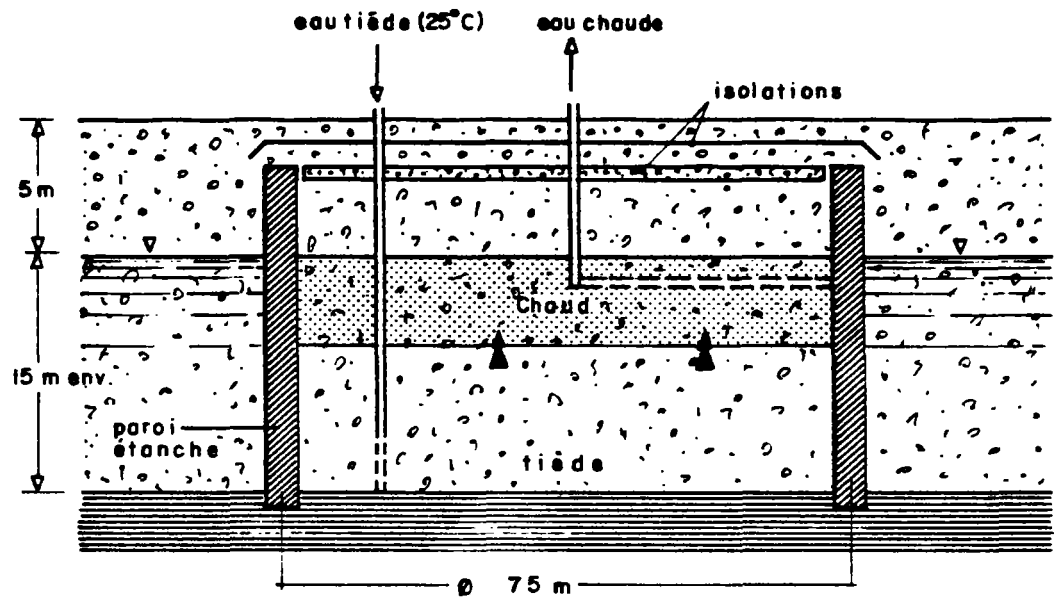
ETE :

**Charge
du stock**



HIVER :

Soutirage



⊙ puits (crépiné en base du stock)

==== drain (en partie haute)

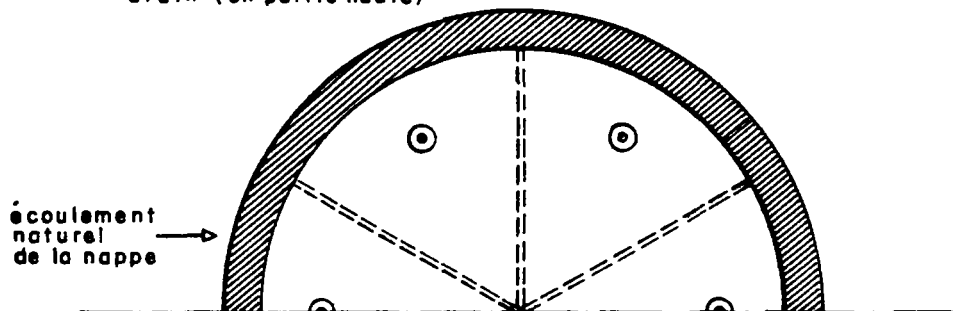


fig. I.1- Schéma de principe

injection par un forage sur la totalité de l'aquifère. Il autorise donc le stockage d'eau à des températures plus élevées : vraisemblablement 70-90°C alors que les stockages par puits sont généralement limités en-dessous de 40-50°C.

1.2. Le prototype ENS - Lyon Gerland

Il est envisagé d'utiliser un tel dispositif pour chauffer les futurs locaux de l'Ecole Normale Supérieure à Lyon Gerland. La chaleur obtenue l'été à faible prix sur le réseau de distribution urbain (production estivale excédentaire par une Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères, et réseau en service pour fourniture à des industries), sera stockée pour être restituée quelques mois plus tard, durant la saison de chauffe.

Le schéma du dispositif est présenté par la figure 1.2. Dans l'aquifère des alluvions du Rhône (sables et graviers), est mise en place une paroi cylindrique étanche atteignant la molasse imperméable. Un cylindre aquifère de 15m d'épaisseur et 75m de diamètre (volume 66 000m³) est ainsi isolé (hydrauliquement), entre les cotes -5m et -20m sous le sol. Une isolation hydraulique et thermique au sommet permet notamment d'éviter le refroidissement par les eaux de pluie.

En été, l'eau prélevée à la base du stock par une batterie de puits verticaux est réintroduite au sommet par un réseau de drains rayonnants horizontaux après élévation de sa température aux environs de 90°C. En hiver, le schéma hydraulique est inversé avec prélèvement de l'eau chaude au sommet et retour d'eau refroidie à 25-30°C à la base. L'eau du stock s'écoule donc en circuit fermé.

Il est à noter que les caractéristiques hydrogéologiques du site de Lyon Gerland se retrouvent fréquemment dans la région Rhône-Alpes (alluvions du Rhône). La réussite de ce prototype entraînera probablement d'autres réalisations similaires.

RESERVOIR

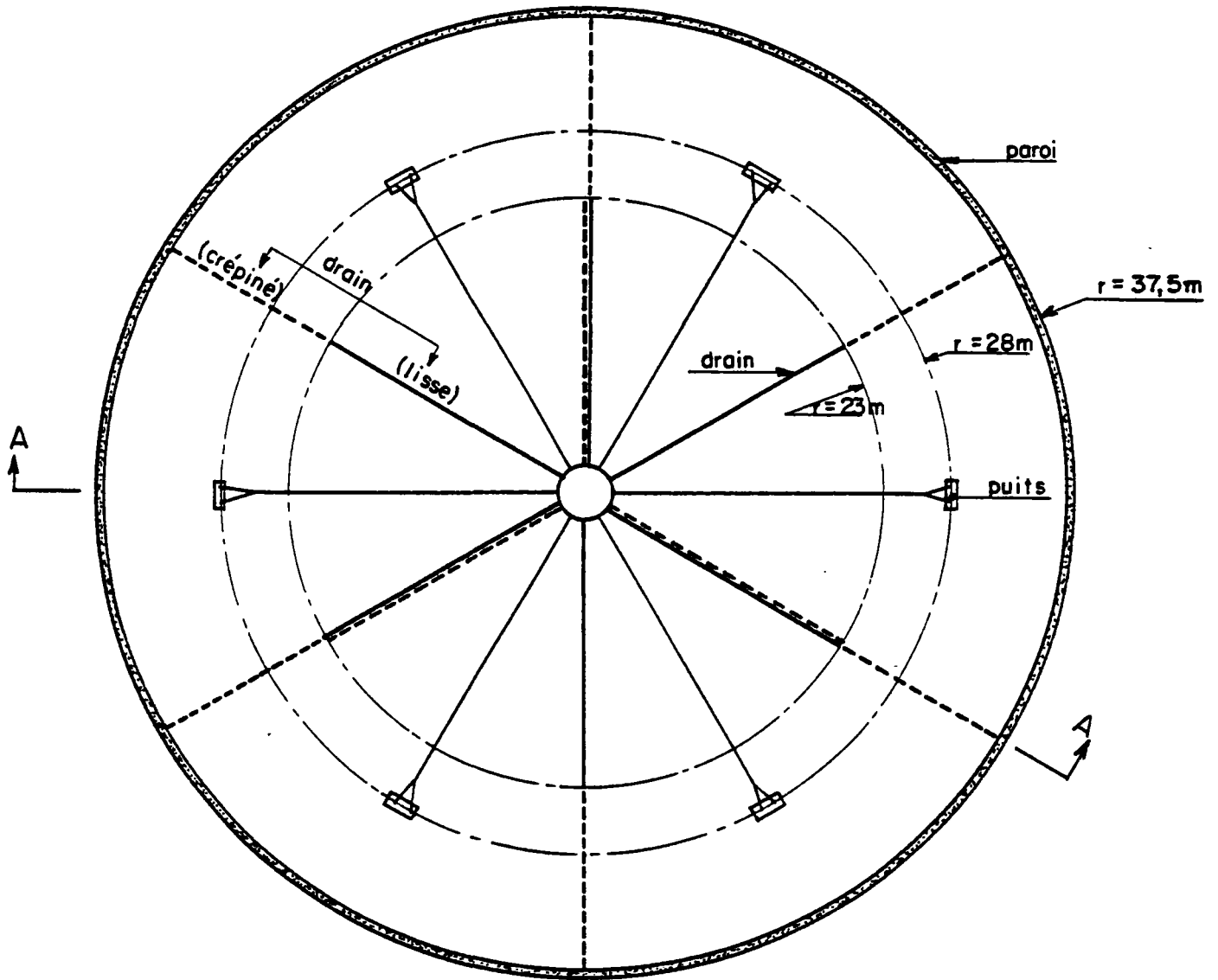
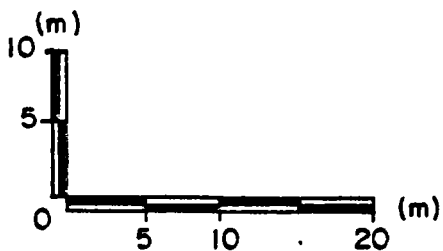
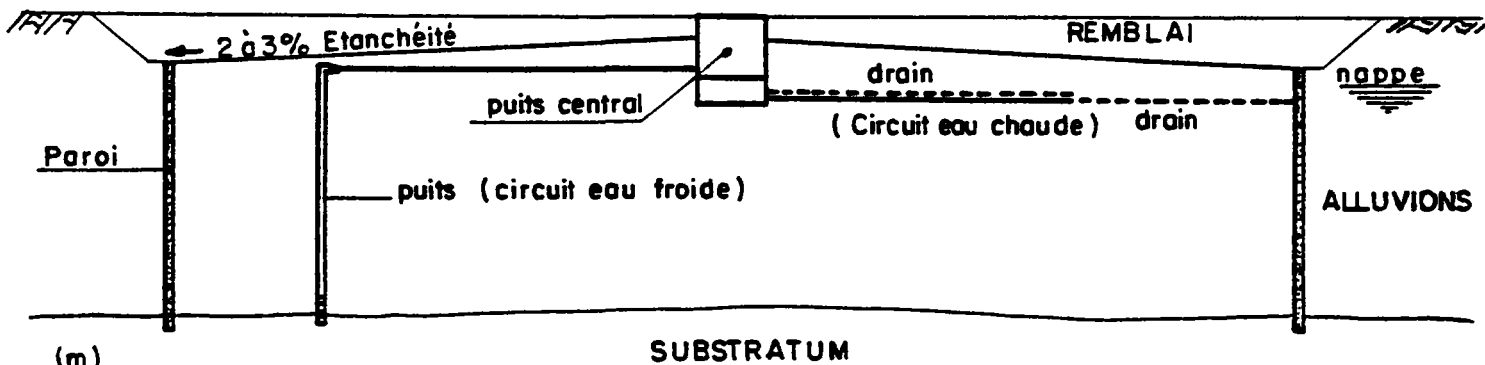
VUE EN PLANCOUPE SCHEMATIQUE A A

Fig. 1.2 : Schéma de l'avant-projet, dimensionné

1.3. Programme d'étude

L'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie a confié au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, à Solexpert International et au Cabinet Morvan, l'étude de faisabilité technique et économique préalable à la réalisation du pilote de stockage intersaisonnier d'eau chaude en nappe phréatique confinée à Lyon Gerland.

Cette étude a comporté :

- une étude hydrogéologique du site afin de préciser les conditions d'écoulement dans le stock et dans la nappe autour du stock, ces conditions ayant des conséquences capitales pour l'efficacité énergétique du stockage, :
- une étude des besoins thermiques des bâtiments,
- une étude hydrothermique destinée à fournir les éléments de prévision du comportement thermique de l'installation globale (alimentation + stock + installation de surface) en fonction des conditions de charge et de décharge du stock et des critères de priorité sur les différentes sources de chaleur possibles (réseau, PAC, hydroaccumulateur, stock, appoints divers).
- une étude des réseaux de chauffage et distribution de chaleur, qui inclut un avant-projet des puits et drains et de leur raccordement,
- une étude des caractéristiques et de l'agencement des matériaux à utiliser pour les isolations hydrauliques et thermiques du réservoir : parois étanches et couverture du stock,
- une étude économique concluant sur les bilans énergétiques et financiers de l'opération, ainsi que sur le dimensionnement de l'installation et son mode d'exploitation.

Le dossier final comprend, outre le présent rapport de synthèse technique et économique :

- le rapport final de l'étude hydrogéologique (numéro BRGM : RP 84 RH 007),

- une note sur le bilan thermique de l'installation de surface (Cabinet MORVAN, Mai 1984),

- le rapport final de l'étude hydraulique et thermique (numéro BRGM : 84 SGN 214 EAU),

- le rapport final des études de l'isolation du stockage et du couplage des réseaux (numéro Solexpert : 136068/22325).

2. ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

L'étude hydrogéologique a été effectuée par le Service Géologique Régional Rhône Alpes ; les sondages ont été réalisés par Solétanche entreprise.

Trois sondages, forés dans l'emprise du futur stock, ont permis de préciser l'extension de l'horizon aquifère entre 5m (ou 6m) et 20m de profondeur sous le sol, d'où une épaisseur plus favorable que l'estimation initiale : 14 à 15m au lieu de 12m. Ils sont équipés de tubes PVC crépinés, tube de fer en tête, avec cadenas.

L'horizon aquifère est constitué de graviers et galets plus ou moins sableux. Le niveau de nappe a été observé à 6m sous le sol. On sait par ailleurs que les fluctuations annuelles ne dépassent pas 0,7m de part et d'autre de ce niveau en année normale. Les perméabilités mesurées par essai "Brillant" sont comprises entre 5.10^{-4} et 5.10^{-3} m/s ; ce sont des valeurs faibles par rapport à la perméabilité horizontale moyenne évaluée sur des forages situés à une centaine de mètres du stock et de l'ordre de 3.10^{-2} m/s. La faiblesse des valeurs mesurées s'explique par la technique des essais à l'avancement et par la méthode de foration par percussion. La perméabilité verticale K_V est en moyenne de 10 à 20 fois plus faible que la perméabilité horizontale K_H . Par sécurité, l'étude du projet sera basée sur des valeurs relativement faibles : $K_H = 5.10^{-3}$ m/s et $K_V = 5.10^{-4}$ m/s ; les mesures réalisées ont été précieuses pour juger de l'homogénéité macroscopique du milieu ; aucun niveau argileux continu n'a été décelé.

La qualité chimique de l'eau est de tendance bicarbonatée calcique avec une minéralisation moyenne. Les teneurs en fer et manganèse sont très élevées ; un traitement contre les bactéries du fer sera nécessaire. De plus, l'examen des problèmes posés par les évolutions cycliques que subiront ces eaux et la connaissance des difficultés rencontrées (puis surmontées) à Lausanne sur le projet SPEOS, imposent une étude géochimique complémentaire précise (cf. annexe II du présent rapport), préalable à la réalisation du prototype et prise en compte dans les coûts d'investissement (cf. Annexe I).

La température naturelle de l'eau de la nappe varie peu autour de 12°C.

3. BILAN THERMIQUE DE L'INSTALLATION DE SURFACE

Le dispositif de chauffage de l'installation de surface est double : chauffage par radiateurs et par batteries d'air. La température d'entrée dans les radiateurs est au maximum de 65°C (par -10°C extérieur) ; le chauffage par batteries d'air est réalisé en série à la sortie des radiateurs ; la cascade thermique s'achève finalement par le préchauffage de l'eau sanitaire.

La température de consigne est de 19°C en période d'occupation, (de 7 h. à 19 h., 5 jours/semaine) et de 12°C en dehors de cette période. Les batteries d'air chaud ne sont utilisées que durant les heures d'occupation.

La puissance de chauffe à couvrir sous les conditions de base (- 10°C extérieur) est de 1980 kW en heures ouvrées (1220 kW par radiateurs et 760 kW par traitement d'air), et de 930 kW hors occupation (radiateurs seuls). Soit, au total sur l'année, 1300 MWh en période d'occupation et 1000 MWh en dehors (globalement 2300 MWh).

4. ETUDE HYDROTHERMIQUE

Une modélisation thermique globale a été mise au point : météorologie, évaluation des besoins thermiques, répartition des apports énergétiques et de la distribution de la chaleur, utilisation d'un stockage intermédiaire, stockage géologique, exploitation complémentaire de la nappe d'eau souterraine par pompe à chaleur.

La modélisation du stockage géologique est complexe ; il a fallu simuler :

- les écoulements à l'intérieur du stock entre les forages crépinés à la base du réservoir et les drains rayonnants mis en place au sommet,

- l'entraînement d'une partie des calories par l'écoulement régional de la nappe,

- les pertes thermiques, notamment vers le sol compte-tenu de la position et des caractéristiques d'une couche isolante.

Compte-tenu des perméabilités évaluées par l'étude hydrogéologique de terrain, une batterie de 6 puits à la base du réservoir est suffisante (les drains au sommet sont définis dans l'étude de couplage (5)).

Malgré la complexité du système, il a été possible d'aboutir à une courbe caractéristique de l'exploitation du stockage (température de l'eau extraite en fonction du volume repompé), très peu dépendante de l'historique du déstockage.

Le modèle thermique, ainsi simplifié, permet des calculs rapides avec une bonne approximation ; il peut être incorporé dans un système de gestion en temps réel du dispositif de chauffage.

L'application au fonctionnement du prototype de Lyon-Gerland a permis de définir deux solutions plus particulièrement intéressantes :

- a) l'une du point de vue des économies globales d'énergie (simulation13), avec exploitation prioritaire jusqu'au 15 janvier d'une pompe à chaleur de 350 kW. Le stock, qui ne fournit jusqu'à cette date que l'énergie complémentaire est préservé pour les mois les plus froids ; il est en-

suite exploité en priorité ; en fait, il couvre alors la totalité des besoins jusqu'à la fin de la saison de chauffe. Lorsque pompe à chaleur et stockage ne peuvent suffire seuls, un ballon d'hydro-accumulation de 80m³ mis en place pour l'exploitation de surface peut être chauffé à 95°C par effet Joule en heure de nuit. Cette eau est disponible de jour pour relever, quand nécessaire, le niveau thermique de la boucle de chauffage.

Dans ces conditions, le stockage fournit dès la seconde saison de chauffe, 1700 MWh pour 2700 MWh stockés en été (taux de restitution 63 %) et la pompe à chaleur 679 MWh dont 342 de nuit. Le surcroît de consommation électrique est limité à 96 MWh, compte-tenu de l'économie sur l'eau chaude sanitaire. La fourniture de chaleur à partir du stock correspond à 71 % des besoins pour le chauffage.

- b) La seconde solution est plus économique dans le contexte particulier de l'E.N.S. de Lyon Gerland, compte-tenu de l'existence d'une sous-station sur le réseau de chaleur. L'énergie ainsi délivrée ne subissant pas de variation tarifaire en période de pointe, on a intérêt à prélever sur le stock dès les premiers jours de chauffe. Cette solution correspond à la simulation 11 (absence de pompe à chaleur et priorité à l'exploitation du stock), dans laquelle on remplace l'hydro-accumulation par l'exploitation directe du réseau de chaleur. Le stockage fournit alors 1920 MWh pour 2900 MWh stockés (taux de restitution 66 % en cours de second cycle) ; le réseau de chauffage fournit 500 MWh, en période de chauffe dont il convient de retrancher 175 MWh fournis à l'eau chaude sanitaire. La chaleur restituée par le stock couvre 78 % des besoins.

5. ISOLATION DU STOCKAGE ET COUPLAGE DES RESEAUX

Isolation latérale

Différents systèmes ont été envisagés pour l'isolation hydraulique et thermique latérale : palplanches, béton plastique, bentonite, coulis, bitume, rideaux injectés.

L'inclusion de bulles d'air ou de billes de polystyrène dans un coulis et la mise en place de panneaux de polystyrène en tranchées conduisent à des surcoûts disproportionnés par rapport aux gains en isolation. L'utilisation d'un bitume de faible conductivité a dû être écartée, compte tenu des températures envisagées (jusqu'à 90°C).

La solution finalement retenue est celle d'une paroi au coulis ; cependant, hors du contexte de Lyon Gerland, la paroi à la bentonite pourrait être plus intéressante, pour des profondeurs ne dépassant pas la dizaine de mètres. Les propriétés thermiques des coulis étant mal connues, une étude expérimentale a été menée sur des coulis de compositions variées (proportions en bentonite, ciment, sable et eau). Elle a débouché sur une corrélation linéaire entre la conductivité thermique et la densité du coulis. Les coulis faiblement chargés en ciment, à la fois moins conducteurs et plus économiques ont été plus particulièrement étudiés.

Isolation superficielle

La présence de canalisations et vestiges de fondations conduira vraisemblablement à excaver la totalité de la surface jusqu'à une profondeur de 4m. En contrepartie, la hauteur de paroi se trouve réduite de 4m et il est possible d'installer une couverture isolante à cette profondeur ; celle-ci pourrait être composée de 2 couches de polystyrène de 5cm à joints croisés (qualité Q3), entre 2 couches pare-vapeur en polyane pour étanchéification ; un pendage de 3 % permettra l'écoulement des eaux.

Couplage des réseaux

Ce couplage destiné à transmettre l'hiver les calories du stock vers le réseau de chauffage, et à charger en été le stock à partir du réseau urbain comprend canalisations, pompes, échangeur et dispositif de puisage et injection dans le stock.

Les débits maximaux prévus à cette étape sont de 45m³/h en période de charge thermique, et de 80 à 100m³/h en saison froide.

Au sommet du réservoir, 6 drains rayonnants sont prévus, dont 3 drainant sur toute la longueur et 3 sur la moitié extérieure seulement ; ceci afin d'approcher au mieux un flux uniforme sur toute la surface du stock. Les drains consistent en tubes propylène 4" placés dans une tranchée de 0,5 x 0,5 m² de section, emplie de graviers roulés, protégés par un géotextile. Ils sont situés à 1m sous le niveau moyen de la nappe.

Six puits de captage sont cimentés sur toute la hauteur jusqu'à 1,5m du substratum ; deux tubes d'acier (Ø 10") mis en place sur cette hauteur, sont prolongés chacun par un forage sur 2m (Ø 7") équipé d'un tube crépiné en polypropylène (Ø 4") situé donc à la base du réservoir.

L'ensemble des 12 tubes des puits de captage et des 6 drains, sont raccordés au local technique cylindrique, isolé en partie basse (diamètre 4m, profondeur 6m), où sont installés les dispositifs de pompage : pompe à débit variable entre 20 et 100 m³/h sous une charge de 10m pour la partie haute, groupe à vide et pompe(s) de refoulement pour 45m³/h sous une charge de 15m pour la partie basse : conduite de refoulement Ø 6".

L'échangeur à plaque interposé entre l'eau du stockage et le circuit de chauffage, fonctionne à débit constant, une vanne 3 voies et un jeu de pompes jumelées assurent le mélange de l'eau en provenance du stock et entrant dans l'échangeur avec une partie du débit sortant de l'échangeur ; ce schéma permet d'abaisser la température de retour vers la partie basse du stock.

Le raccordement est assuré par tuyauteries isolées en tranchées jusqu'aux bâtiments, puis en élévation dans le vide sanitaire des bâtiments.

Travaux à effectuer

Ces travaux comprennent :

- l'excavation d'environ 26 000m³ de matériau dont 3 000m³ à évacuer, avec une surface débordant celle du stock pour permettre l'évolution des engins.
- la réalisation de la paroi au coulis par outillage du type "kelly",
- le forage des 6 puits de captage, leur équipement,
- les 6 drains rayonnants,
- le puits central, son équipement et les raccordements,
- l'isolation de surface,
- le remblaiement avec compactage léger,
- les tranchées pour conduites et câblages électriques entre le stock et les bâtiments,
- le raccordement aux réseaux.

Le coût des travaux est repris dans le chapitre 6 : économie du projet.

N.B. : Si les constructions enterrées étaient suffisamment peu nombreuses pour permettre des purges localisées, le préterrassément pourrait être limité à 1,5m de profondeur, d'où résulterait une diminution du montant des travaux de l'ordre de 8 à 10 %.

6. ECONOMIE DU PROJET

L'analyse est basée sur les hypothèses suivantes :

- coûts hors taxes, avril 1984 .
- kWh PRODITH : 0,22 F H.T. en hiver
0,035 F H.T. en été
- kWh électrique (tarif général moyenne tension, 0,42 F. en période de chauffe
version de base) : 0,20 F. en été
- la solution de référence alternative au stockage est basée sur l'exploitation d'une PAC, l'appoint étant fourni par une sous-station PRODITH dont la puissance permet toutefois la couverture totale des besoins.

La totalité des investissements s'élève à 5 400 kF.H.T. (tableau I).

Mais on rappelle que l'importance des dépenses de terrassement résulte de l'encombrement souterrain du site et que, en fonction des conditions du marché, le coût de génie civil pourrait être abaissé.

Par ailleurs, en comparaison avec la solution de référence, il convient de déduire la valeur de la PAC, rendue inutile, soit 700 kF.H.T. environ.

Une enveloppe annuelle de l'ordre de 30 kF H.T. est à retenir pour les coûts d'exploitation prévisionnels.

Le bilan économique s'établit comme suit :

- coût annuel de la charge thermique du stock (avec un rendement de 0,95 entre la sous-station et le réservoir)..... 107 kF H.T.
- coût annuel de l'exploitation 30 kF H.T.
- les économies portent sur 1922 MWh utiles (dont 175 pour ECS),
soit 445 kF H.T.

TABLEAU 1 - RAPPEL DES COÛTS D'INVESTISSEMENT

Coûts en milliers de francs - hors taxes - valeur avril 1984

Hypothèses : pré-terrassement à 4 mètres

1 - Terrassement préliminaire	kF 610
2 - Paroi de -4 à -21 m (diamètre 75 m, e = 0,65 m)	2 400
3 - Puits central (local technique)	67
4 - Puits de captage (6 doublets - puits froids)	243
5 - Captage de surface (6 tranchées drainantes)	112
6 - Isolation de surface - remblaiement	1 008
7 - Pompes et raccordements électriques	100
8 - Tranchée et conduites superficielles	86
9 - Raccordement aux réseaux	90
10 - Traitement du fluide (y compris étude géochimique préalable)	200*
SOUS TOTAL TRAVAUX	4 916
INGENIERIE (10 %)	492
TOTAL DES INVESTISSEMENTS	5 408

* provision.

Nota : on pourrait inclure dans les coûts d'investissement, le coût de la première charge du stock (soit 110 kF = coût de l'énergie + pompage)

TABLEAU 2 - COUTS ANNUELS D'EXPLOITATION SPECIFIQUES DE LA BOUCLE
DE STOCKAGE

1 - Coûts d'électricité	
a) pompage d'eau chaude et circulation (env. 3 kW x 4000 h)	5 000 F
b) pompage d'eau froide et circulation (env. 4 kW x 1500 h)	1 200 F
2 - Coûts liés au traitement du fluide (provision)	10 000 F
3 - Maintenance des équipements	
a) entretien courant	4 000 F
b) renouvellements (provision annuelle)	10 000 F
	30 200 F
Arrondi à	30 000 F

Les économies nettes sont ainsi de 308 kF/an qui, par rapport aux seuls surcoûts de 4.700 kF, conduisent à un temps de retour brut (hors financements) de 15 ans environ ; par rapport au coût des investissements, le temps de retour brut est de l'ordre de 17,5 ans.

Les économies annuelles, de l'ordre de 310 kF/an permettent de couvrir, dès la première année, les annuités d'un emprunt de 2MF à 13 % sur 15 ans. Compte-tenu de différents facteurs, il semble qu'un taux de subvention de l'ordre de 50 % (projet de démonstration CCE, AFME, EPR...) permettrait de réaliser l'opération.

CONCLUSION

L'acceptation d'un délai de retour de cet ordre se conçoit si on considère l'opération comme pilote et donc devant bénéficier d'un financement aidé important. La réalisation de ce projet permettrait de mieux cerner l'intérêt technique et économique de ce procédé de stockage et d'estimer au mieux son "créneau" en particulier la taille minimale nécessaire pour obtenir des délais de retour acceptables ; en effet, il apparaît que le volume des besoins de l'ENS (< 250 TEP) est faible pour la mise en oeuvre d'un tel projet (en première analyse, le coût de la paroi varie en fonction du rayon du stock alors que le volume stocké varie, lui, en fonction du carré, un dimensionnement supérieur serait donc favorable, à hauteur identique d'aquifère capté).

Le projet de l'ENS Lyon est bien à considérer comme un pilote et sa réalisation devra permettre les extrapolations à d'autres sites.

7. CONCLUSIONS GENERALES

L'étude de la faisabilité technique et économique d'un pilote de stockage intersaisonnier d'eau chaude à réaliser sur le futur site de l'Ecole Normale Supérieure à Lyon Gerland a permis de préciser les conditions de fonctionnement de cette installation, aboutir à un avant-projet technique, et à son évaluation économique.

La définition et la prise en compte des diverses contraintes du projet, liées au sous-sol, aux besoins thermiques des bâtiments et aux sources locales d'énergie, ont fait l'objet de travaux complémentaires consignés dans les rapports spécifiques. Les principaux résultats sont les suivants :

- L'étude hydrogéologique de l'aquifère des alluvions du Rhône révèle un aquifère relativement homogène à l'échelle du stock, avec des perméabilités élevées, propres à la réalisation d'écoulements forcés à l'intérieur du stock. Par ailleurs, l'épaisseur utile est plus favorable qu'initialement prévue : 15m environ au lieu de 12m.
- L'examen des aspects chimiques montre la nécessité d'une étude géochimique plus approfondie avant la réalisation d'un prototype. Cette étude devrait déboucher sur la définition de traitements des eaux (Annexe II).
- Le bilan thermique de l'installation de surface qui évalue les besoins à 2300 MWh/an.
- Les simulations hydrothermiques des transferts de chaleur et écoulements dans le sous-sol, aboutissent à la prévision d'une efficacité élevée (supérieure à 66 % dès la seconde année), pour ce stock protégé des écoulements régionaux par une paroi étanche. La mise en place de 6 puits crépinés à la base du réservoir doit suffire pour assurer l'horizontalité des interfaces thermiques.
- La simulation thermique de l'ensemble de l'installation a conduit à deux configurations plus particulièrement intéressantes, l'une du point de vue économies globales d'énergie, l'autre du point de vue financier dans le contexte des énergies localement disponibles. C'est cette dernière qui a été retenue ; la chaleur restituée par le stock couvre 78 % des

besoins en année moyenne.

Le stockage aurait un diamètre de 75m et une hauteur utile de 15m. Son volume de 66 000m³ (dont environ 13 000m³ d'eau) est supérieur à celui initialement prévu ; il est ainsi en accord avec la quantité d'énergie que l'on souhaite finalement exploiter.

- L'étude de l'isolation latérale du stock a conduit à retenir la solution d'une paroi au coulis. L'étude expérimentale des conductivités thermiques de différentes compositions de coulis débouche sur une relation linéaire entre conductivité thermique et densité ; les coulis plus faiblement chargés en ciment sont à la fois moins onéreux et meilleurs isolants. L'étude de l'isolation superficielle conclut à la mise en place d'une couverture isolante (10cm de polystyrène entre 2 couches de pare-vapeur en polyane), à 4m de profondeur.
- Les 6 puits crépinés à la base du réservoir et 6 drains installés au sommet seront reliés à un local technique équipé de pompes et d'un groupe à vide. L'échangeur à plaque interposé entre l'eau du stockage et celle du circuit de distribution fonctionnera à débit constant.
- Le total des investissements s'élève à 5 400 kF dont 4 700 kF en surcoût, compte-tenu de la suppression d'une PAC de 350 kW (700 kF environ). Les économies nettes sont estimées à 310 kF/an (445 kF - 107 kF pour la charge du stock - 30 kF de coût d'exploitation), d'où un temps de retour brut d'environ 17 ans.

L'acceptation de ce délai de retour se conçoit pour une opération pilote devant bénéficier d'un financement aidé important. De fait, le projet de l'ENS Lyon est bien une opération pilote qui permettra de maîtriser les conditions d'applications industrielles du procédé, avec la réalisation de stockages plus volumineux donc plus rentables (le rapport investissement/quantité d'énergie stockée diminuant avec la taille).

L'emploi d'une PAC permet une meilleure couverture des besoins et même un effacement total de la fourniture PRODITH en hiver ; cependant la nécessité d'un secours, d'une part, et de la sous-station PRODITH pour l'alimentation du stock en été, d'autre part, interdit de réduire la puissance de cette sous-station. Là aussi la comparaison, *aux conditions actuelles*, des coûts respectifs de l'électricité d'hiver et des coûts PRODITH ne justifie pas l'adjonction d'une PAC en plus du stockage, ses durées d'utilisation se trouvant alors fortement réduites.

En cas de réalisation du stockage, la solution de base serait donc simple, à savoir une utilisation maximale et prioritaire du stock (sous réserve EJP pour le pompage, le cas échéant), l'ensemble des appoints étant assuré par la sous-station PRODITH.

3 - ESTIMATION DES COÛTS D'INVESTISSEMENT

Le tableau 1 reprend les coûts d'investissement estimés par SOLEXPERT (cf. rapport) ; on a exclu l'hydroaccumulation.

Il convient d'ajouter à ces différents postes, celui prévisible d'un traitement du fluide ; ce traitement dont les modalités techniques devront être précisées par une étude géochimique détaillée préalable pourrait comporter une séparation de phases et/ou une injection d'additifs (cf. annexe 2).

Il est à retenir que cette enveloppe est exclusive de tout programme scientifique d'accompagnement (instrumentation complémentaire, suivi...) qui pourrait être conduit en parallèle bénéficiant d'un financement particulier.

Le total des investissements s'élève ainsi à 5 408 kF.

Il convient d'apporter les précisions suivantes :

- les coûts du terrassement préliminaire sont élevés à cause de l'encombrement souterrain du site ; les déblaiements pris en compte ici auraient dû, en tout état de cause, être réalisés en l'absence de stockage ; ce facteur majore le coût des travaux de 8 à 10 % (cf. rapport SOLEXPERT) ;
- en fonction des conditions du marché, on peut estimer que le coût global de 600 F/m² pour la paroi est un maximum et qu'une valeur de 500 F/m² peut être obtenue.

Par ailleurs en comparaison avec la solution de référence, il convient de déduire la valeur de la PAC qui est rendue inutile, soit 700 kF environ.

TABLEAU 1 - RAPPEL DES COÛTS D'INVESTISSEMENT

Coûts en milliers de francs - hors taxes - valeur avril 1984

Hypothèses : pré-terrassement à 4 mètres

	kF
1 - Terrassement préliminaire	610
2 - Paroi de -4 à -21 m (diamètre 75 m, e = 0,65 m)	2 400
3 - Puits central (local technique)	67
4 - Puits de captage (6 doublets - puits froids)	243
5 - Captage de surface (6 tranchées drainantes)	112
6 - Isolation de surface - remblaiement	1 008
7 - Pompes et raccordements électriques	100
8 - Tranchée et conduites superficielles	86
9 - Raccordement aux réseaux	90
10 - Traitement du fluide (y compris étude géochimique préalable)	200*
SOUS TOTAL TRAVAUX	4 916
INGENIERIE (10 %)	492
TOTAL DES INVESTISSEMENTS	5 408

* provision

Nota : on pourrait inclure dans les coûts d'investissement, le coût de la première charge du stock (~ 110 kF = coût de l'énergie + pompage)

Le surcoût spécifique au stockage est ainsi de l'ordre de 4 700 kF.

4 - ESTIMATION DES COÛTS D'EXPLOITATION ANNUELS (SPECIFIQUES AU STOCKAGE)

Le tableau 2 indique les coûts d'exploitation annuels prévisionnels. Une *enveloppe annuelle de l'ordre de 30 kF est à retenir.*

5 - BILAN ECONOMIQUE DU PROJET

Il convient de comparer le surcoût des investissements par rapport aux économies réalisées.

Sur une année, les charges sont :

- coût du stockage (cf. hyp. S11)

$$2912 \text{ MWh} \times \frac{1}{0,95} \times 35 \text{ F/MWh} \neq 107 \text{ 000 F H.T.}$$

avec 0,95 = rendement entre la sous-station et le stock.

- coût d'exploitation (cf. 4 à dessus), soit 30 000 F H.T.

soit une charge annuelle de *137 kF H.T.*

Les économies portent sur 1922 MWh utiles (y compris 175 pour l'ECS)

$$\text{soit } 1922 \times \frac{1}{0,95} \times 220 \text{ F/MWh} \neq 445 \text{ 000 F H.T.}$$

les économies nettes sont ainsi de $445 - 137 = 308 \text{ kF/an}$

comparé au coût des investissements de 5 408 kF (cf 3 ci-dessus), on peut déterminer un *délaï de retour brut (hors financement) de l'ordre de 17,5 ans.*

Rapporté aux seuls surcoûts de 4 700 kF, le délai de retour s'établit à *15 ans environ.* Ces valeurs du délai de retour sont à comparer à la durée de vie technique des ouvrages qui peut être estimée supérieure à 30 ans.

TABLEAU 2 - COUTS ANNUELS D'EXPLOITATION SPECIFIQUES DE LA BOUCLE
DE STOCKAGE

1 - Coûts d'électricité	
a) pompage d'eau chaude et circulation (env. 3 kW x 4000 h)	5 000 F
b) pompage d'eau froide et circulation (env. 4 kW x 1500 h)	1 200 F
2 - Coûts liés au traitement du fluide (provision)	10 000 F
3 - Maintenance des équipements	
a) entretien courant	4 000 F
b) renouvellements (provision annuelle)	10 000 F
	30 200 F
Arrondi à	30 000 F

6 - FINANCEMENT POSSIBLE DU PROJET

Le financement du projet sera fonction du montage juridique adopté pour sa réalisation et de la nature du maître d'ouvrage. Dans tous les cas un tel pilote nécessite une aide en subvention de la part des organismes compétents. Des demandes de subvention devraient être faites auprès des Communautés Européennes (aide aux projets de démonstration), de l'A.F.M.E. et, le cas échéant, des organismes régionaux (EPR) ou locaux.

Une partie du financement des travaux pourrait être assurée par un emprunt dont les remboursements seraient couverts par les gains annuels d'exploitation. Sur la base de 311 kF/an d'économies, une annuité constante sur 15 ans à 13 % d'un emprunt de 2 MF est couverte dès la première année. Compte tenu des dérives de prix et de la modulation possible des annuités, il semble qu'un financement de 50 % du coût des travaux par emprunt serait possible.

En conséquence, un taux de subvention global de l'ordre de 50 % paraît nécessaire pour réaliser l'opération ; ce taux semble acceptable compte tenu du caractère pilote du projet.

7 - CONCLUSION

L'acceptation d'un délai de retour de cet ordre se conçoit si on considère l'opération comme pilote et donc devant bénéficier d'un financement aidé important. La réalisation de ce projet permettrait de mieux cerner l'intérêt technique et économique de ce procédé de stockage et d'estimer au mieux son "créneau" en particulier la taille minimale nécessaire pour obtenir des délais de retour brut meilleurs (< 10 ans) ; en effet, il apparaît que le volume des besoins de l'ENS (< 250 TEP) est faible pour la mise en oeuvre d'un tel projet (en première analyse, le coût de la paroi varie en fonction du rayon du stock alors que le volume stocké varie, lui, en fonction du carré ; un dimensionnement supérieur serait donc favorable, à hauteur identique d'aquifère capté).

Le projet de l'ENS Lyon est bien à considérer comme un pilote et sa réalisation devra permettre les extrapolations à d'autres sites.

ANNEXE II : ETUDE GEOCHIMIQUE

par G. OUZOUNIAN

1 - CADRE TECHNIQUE

Le projet de stockage de chaleur à l'ENS Lyon Gerland se propose d'accumuler la chaleur produite en été et de la récupérer durant la saison de chauffe. Le stockage s'opère dans un réservoir naturel, délimité en bordure par une paroi artificielle et équipé d'organes de transfert (puits et drains rayonnants). Le vecteur de chaleur est l'eau du réservoir (12°C).

En été l'eau est prélevée par les puits, portée à 90°C maximum. puis réinjectée par l'intermédiaire des drains superficiels.

En hiver l'écoulement est inversé, à savoir production par les drains, récupération des calories en surface (baisse de température jusqu'à 25°C), puis à nouveau introduite dans le réservoir par les puits.

L'ensemble fonctionne tel un piston pour un volume d'eau d'environ 13 000 m³. La roche réservoir est essentiellement constituée de sables et de graviers dont la nature minéralogique n'est pas précisée.

2 - ASPECT GEOCHIMIQUE

L'eau du réservoir naturel a une composition initiale fixée par les conditions environnantes, en particulier de minéralogie. Les réactions chimiques sont réglées par les conditions d'équilibre qu'elles réalisent ou non avec l'encaissant.

Un des paramètres essentiels qui régit ces conditions d'équilibre est la température ; toute modification imposée au système va provoquer des déplacements d'équilibres qui peuvent se traduire par des transferts de matière : dissolution - redéposition. Ces réactions secondaires ont autant de chance de se produire que la température est élevée :

- . elles sont amplifiées par l'écart de température
- . leur cinétique est accrue par l'effet de température.

A titre d'exemple, on peut signaler l'augmentation de la solubilité de la silice ou, à l'inverse, la précipitation de calcite avec l'augmentation de température. Lors du refroidissement, les réactions changent de sens.

D'autres réactions tel le dégazage du CO₂, peuvent se traduire par une alcalinisation du milieu et un dépôt de matière. Les conséquences directes de ces transferts de matière peuvent être le colmatage de parties sensibles des installations ou de parties aveugles du réservoir.

3 - ETUDE GEOCHIMIQUE

L'approche géochimique consiste en premier lieu à identifier l'ensemble des équilibres chimiques du système. Une fois les réactions identifiées, on impose au système un ensemble de contraintes, identiques aux conditions d'exploitation, puis on mesure les variations de réactivité et les déplacements d'équilibre : les programmes de calcul mis en oeuvre permettent de prévoir l'état de saturation de l'eau, dans les nouvelles conditions de température ou de séparation de phase, vis à vis de minéraux susceptibles de se déposer ou au contraire d'être dissous. Dans un second temps, une simulation permet d'évaluer les types et quantités de phases solides réactantes.

L'ensemble de l'étude ne peut être réalisé qu'à partir de données chimiques fiables, à savoir très précises dans les conditions de terrain. En particulier un ensemble de mesures des grandeurs non conservatives doit être réalisé sur site : t°, pH, Eh, CO₂, H₂S... Des prélèvements et conditionnements spécifiques à chaque type d'analyse seront réalisés :

- . cations majeurs
- . anions majeurs
- . éléments en traces
- . gaz libres
- . gaz dissous.

Lors de l'intervention sur site, il importe également d'évaluer les matières en suspension, donnée essentielle pour les aménagements de surface, ainsi que l'aspect bactériologique. Le système constitué par la boucle peut en effet réunir les conditions favorables au développement de colonies bactériennes à même de perturber le fonctionnement ou encore de colmater les abords de la formation.

4 - EXPLOITATION DES RESULTATS

L'analyse de l'ensemble des résultats débouchera nécessairement sur des recommandations :

- . d'installation de la boucle,
- . de conditions d'exploitation du fluide,

afin de limiter, voire d'éviter, les effets des réactions préalablement identifiées.

On peut signaler qu'à l'occasion du projet SPEOS - Dorigny (Suisse), l'étude et l'expérience ont montré les risques ; des dispositions ont été retenues afin de permettre l'exploitation de l'opération.



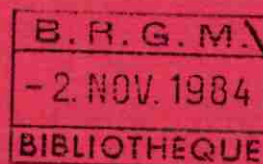
JR

ENS - LYON GERLAND

ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE D'UN PROJET DE STOCKAGE CONFINÉ EN NAPPE PHRÉATIQUE

2

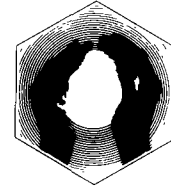
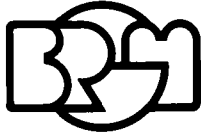
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
Service Géologique Régional Rhône Alpes

Rapport du B.R.G.M.

RP 84 RHA 007



ENS - LYON GERLAND

ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE D'UN PROJET DE STOCKAGE CONFINÉ EN NAPPE PHRÉATIQUE

2

ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE

par

J.M. ROYER

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
Service Géologique Régional Rhône Alpes

Rapport du B.R.G.M.

RP 84 RHA 007

Juillet 1984

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
1 - <u>INTRODUCTION</u>	2
11 - MODALITES ADMINISTRATIVES	2
12 - BUT	2
13 - OBJET	2
2 - <u>TRAVAUX ET ESSAIS REALISES</u>	2
21 - SITUATION	2
22 - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES SONDAGES	4
23 - COUPE LITHOLOGIQUE	4
24 - ESSAIS DE PERMEABILITE REALISES A L'APPAREIL "BRILLANT"	4
25 - SUIVI LIMNIGRAPHIQUE ET THERMOGRAPHIQUE	5
26 - ANALYSES GRANULOMETRIQUES	5
3 - <u>COMMENTAIRES</u>	6
31 - PERMEABILITES	6
32 - RELATION GRANULOMETRIE-PERMEABILITE	6
33 - AUTRES DONNEES DISPONIBLES	7
331 - <u>Qualité chimique</u>	7
332 - <u>Température de l'eau de la nappe</u>	11
333 - <u>Fluctuations piézométriques</u>	11
4 - <u>CONCLUSIONS</u>	12

TABLE DES FIGURES

Fig. 2 - Plan de situation (1/10.000)	3
Fig. 32a - Relation granulométrie - perméabilité	8
Fig. 32b - " " "	9

1 - INTRODUCTION

11 - MODALITES ADMINISTRATIVES

L'étude hydrogéologique, objet du présent rapport, a été effectuée par le Service géologique régional RHONE-ALPES en prestation pour le Département géothermie du B.R.G.M.

12 - BUT

Le but de cette étude est de préciser la nature et la stratigraphie du terrain, ainsi que ses caractéristiques hydrogéologiques dans le cadre de la faisabilité d'un stockage intersaisonnier de chaleur à l'ENS Gerland.

13 - OBJET

L'objet en est le suivi des sondages effectués par Solétanche Entreprise et l'exploitation des essais et observations.

2 - TRAVAUX ET ESSAIS REALISES

21 - SITUATION

Les trois sondages ont été implantés aux sommets d'un triangle équilatéral, à l'intérieur du secteur prévu pour implanter le stockage (cf. fig. 21). Ils sont enregistrés sous l'indice national BSS : 698-6S-0084

Les coordonnées Lambert sont :

X = 793,77 Y = 84,01 (Zone II)

La cote du T.N. est : 163,8 m NGF.

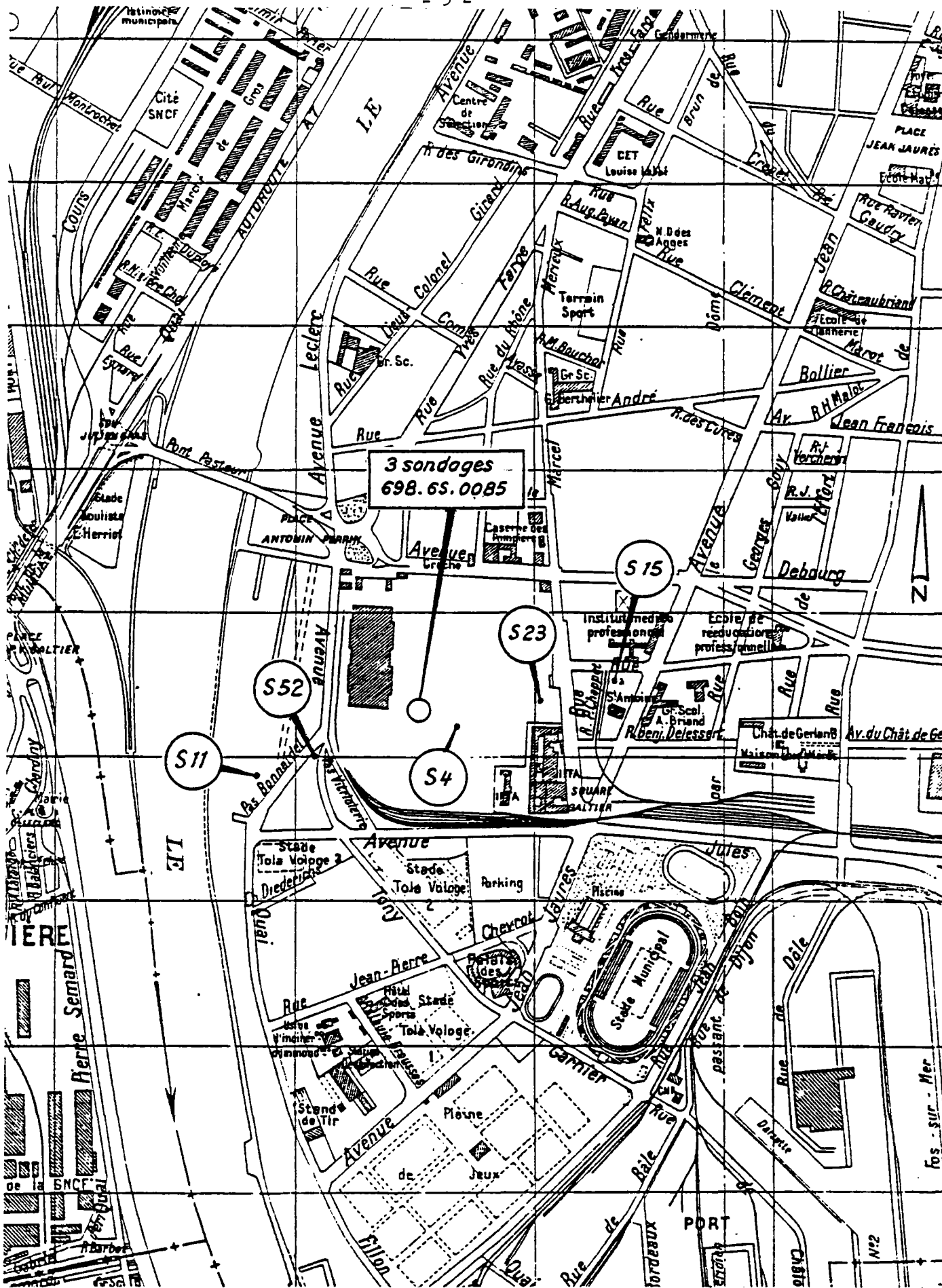


Figure 21. PLAN DE SITUATION (1/10 000)

22 - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES SONDAGES

Les sondages, réalisés par Solétanche-Entreprise fin décembre 1983 et début janvier 1984, ont atteint l'horizon molassique à une profondeur comprise entre 19,5 et 20,3 m.

Mode de foration : en percussion à la curette Ø 7 ", à l'eau claire.

Equipement :

- . tube PVC Ø 40/49 (lisse : 16 m; crépiné : 4 m) pour S1 et S2
- . tube PVC Ø 80/90 crépiné sur toute la hauteur pour S3
- . tube fer en tête avec cadenas.

23 - COUPE LITHOLOGIQUE

On trouvera en annexe 1, la coupe des terrains traversés établie par le sondeur pour chacun des sondages.

On retiendra que l'horizon aquifère (entre 5 à 6 m et 20 m de profondeur) est constitué de graviers et galets, plus ou moins sableux, avec présence parfois de blocs pouvant dépasser 10 cm.

24 - ESSAIS DE PERMEABILITE REALISES A L' APPAREIL "BRILLANT"

Cinq essais de ce type ont été effectués entre 7 et 20 m de profondeur, régulièrement répartis sur la hauteur mouillée du sondage S3 (cf. annexe 2). Les valeurs de perméabilité déduites de ces essais sont les suivantes :

* ESSAI *	HORIZON TESTE (en m)	* k (en m/s) *
* 1 *	* 7,34 - 7,84 *	* $4,9 \cdot 10^{-4}$ *
* 2 *	* 10,50 - 11,00 *	* $6,8 \cdot 10^{-4}$ *
* 3 *	* 13,60 - 14,10 *	* $4,7 \cdot 10^{-3}$ *
* 4 *	* 16,20 - 16,70 *	* $2,2 \cdot 10^{-3}$ *
* 5 *	* 19,20 - 19,70 *	* $7,7 \cdot 10^{-4}$ *
* * *	* * *	* * *
* * *	* * *	* * *
* * *	* * *	* * *

25 - SUIVI LIMNIGRAPHIQUE ET THERMOGRAPHIQUE

Les relevés limnigraphiques et thermographiques effectués en continu jusqu'à ce jour, montrent une grande stabilité du niveau et de la température de l'eau :

- NP compris entre 6,05 et 6,10 m sous le T.N.
- température : 12,9 à 13,0°C

26 - ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Des analyses granulométriques ont été effectuées sur les échantillons remis par Solétanche-Entreprise. Ces échantillons correspondent aux niveaux où ont été réalisés les essais "Brillant".

Les résultats de ces analyses (cf. annexe 3) montrent que les éléments fins sont pratiquement inexistants : les éléments de diamètre inférieur à 0,2 mm représentent de 1 à 2 % en poids.

Les diamètres caractéristiques d10 et d60 habituellement retenus pour caractériser la granulométrie d'un échantillon, sont les suivants :

* ECHANTILLON *	* PROFONDEUR (en m) *	* d10 (mm) *	* d60 (mm) *	* u *
* 1 *	* 7,3 - 7,8 *	* 0,5 *	* 19 *	* 38 *
* 2 *	* 10,5 - 11,0 *	* 0,5 *	* 16 *	* 32 *
* 3 *	* 13,6 - 14,1 *	* 1 *	* 27 *	* 27 *
* 4 *	* 16,2 - 16,7 *	* 3 *	* 25 *	* 8,3 *
* 5 *	* 19,2 - 19,7 *	* 0,6 *	* 19 *	* 32 *

On a porté également dans ce tableau le coefficient d'uniformité
 $u = d60/d10$.

3 - COMMENTAIRES

31 - PERMEABILITES

Les valeurs de perméabilité déduites des essais "Brillant" sont comprises dans la plage 5.10^{-4} à 5.10^{-3} m/s. On ne peut utiliser ces valeurs que comme valeurs relatives de la perméabilité des différents horizons.

En effet, la perméabilité déduite d'un pompage d'essai sur un point voisin (S4, situé à une centaine de mètres à l'Est du site) est nettement plus élevée ($k = 2,6.10^{-2}$ m/s).

Des essais types Lefranc ont été effectués par la CNR sur les sondages S11, S15 et S23. Outre le fait que les perméabilités obtenues sont très dispersées (de 10^{-5} à 2.10^{-2} m/s sur les horizons sablo-graveleux), on observe que la position des horizons les plus perméables varie d'un sondage à l'autre (cf. annexe 4).

32 - RELATION GRANULOMETRIE - PERMEABILITE

La littérature scientifique abonde de formules reliant la perméabilité à certains paramètres caractéristiques de la granulométrie.

Une des plus simples est la formule de Schneebeli :

$$\text{Log } k = 2 \text{ Log } d_{10} + 2$$

L'application au cas présent donne les résultats suivants :

* ECHANTILLON *	* d_{10} (mm) *	* k calculé (m/s) *	* k "Brillant" (m/s) *
* 1 *	* 0,5 *	* $1,8.10^{-4}$ *	* $4,9.10^{-4}$ *
* 2 *	* 0,5 *	* $1,8.10^{-4}$ *	* $6,8.10^{-4}$ *
* 3 *	* 1 *	* $7,4. 10^{-4}$ *	* $4,7.10^{-3}$ *
* 4 *	* 3 *	* $6,7.10^{-3}$ *	* $2,2.10^{-3}$ *
* 5 *	* 0,6 *	* $2,7.10^{-4}$ *	* $7,7.10^{-4}$ *

Ce type de relation ne peut donner qu'une approche grossière (cf. fig. 32 a). Bien qu'il soit évident que la perméabilité soit conditionnée par les grains les plus fins qui déterminent la section effective des canaux interstitiels, il n'est pas certain que le diamètre caractéristique d_{10} soit le seul ou le bon paramètre à prendre en considération.

La figure 32 b montre que, dans notre cas, la perméabilité pourrait être reliée à d_{20} ou d_{30} , avec la réserve que cette "relation" n'est établie que sur un échantillon réduit (5 valeurs seulement).

33 - AUTRES DONNEES DISPONIBLES

Ces données sont extraites pour la plupart d'une étude antérieure^(*) réalisée pour le compte du Rectorat de l'Académie de Lyon.

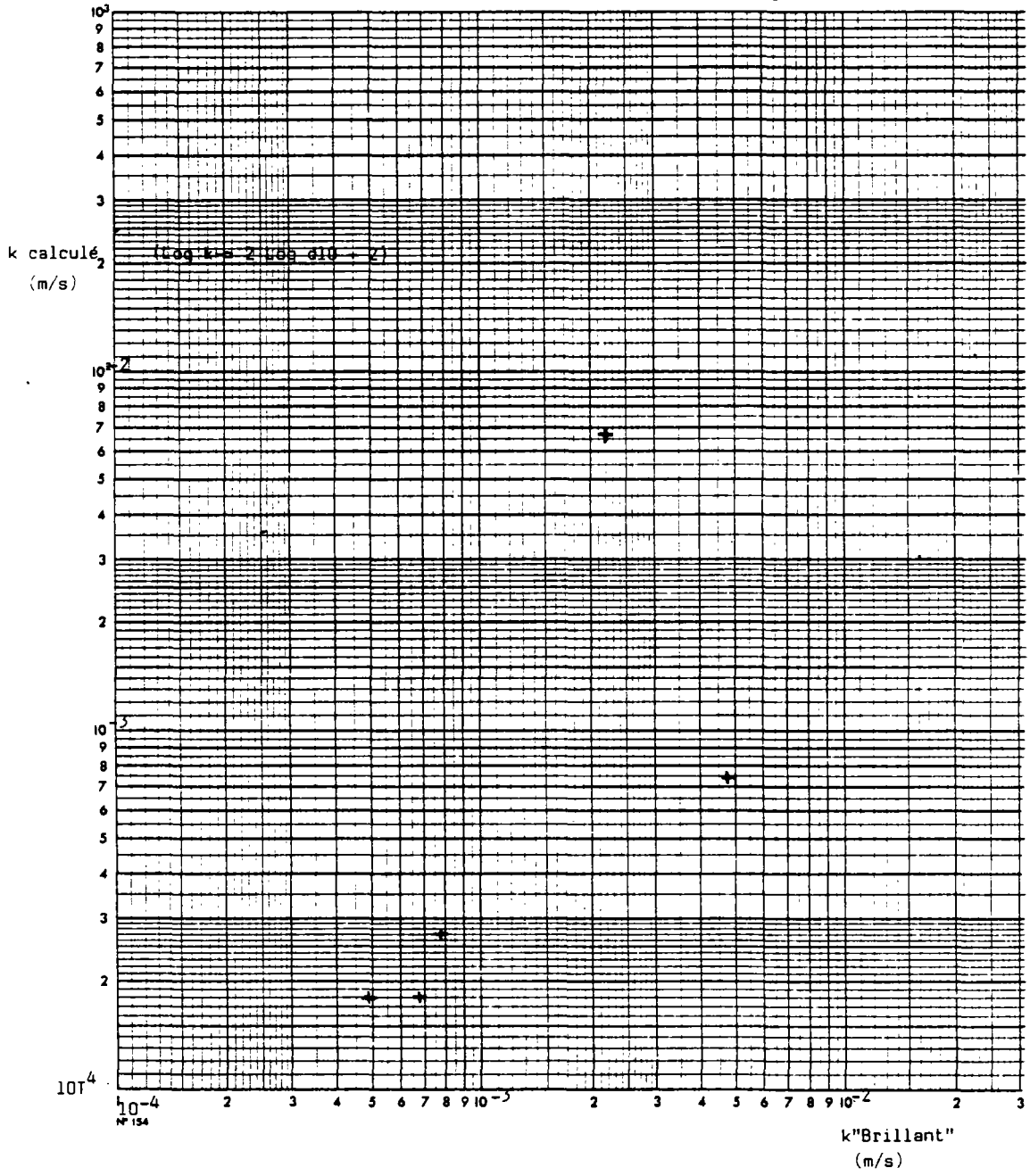
331 - QUALITE CHIMIQUE

L'eau de la nappe est de type bicarbonaté-calciqque, de minéralisation moyenne. Elle se caractérise par :

- une teneur relativement élevée en sulfate pour la région.
- des teneurs extrêmement élevées en fer et manganèse; elles sont exceptionnelles pour la région dans les nappes phréatiques, et sont le résultat d'une pollution significative du milieu. On ne peut utiliser cette eau sans traitement, en effet certaines bactéries sont très avides de fer, ces ferro-bactéries se fixent sur les parois des canalisations et entraînent des phénomènes de corrosion avec formation de concrétions volumineuses et denses.

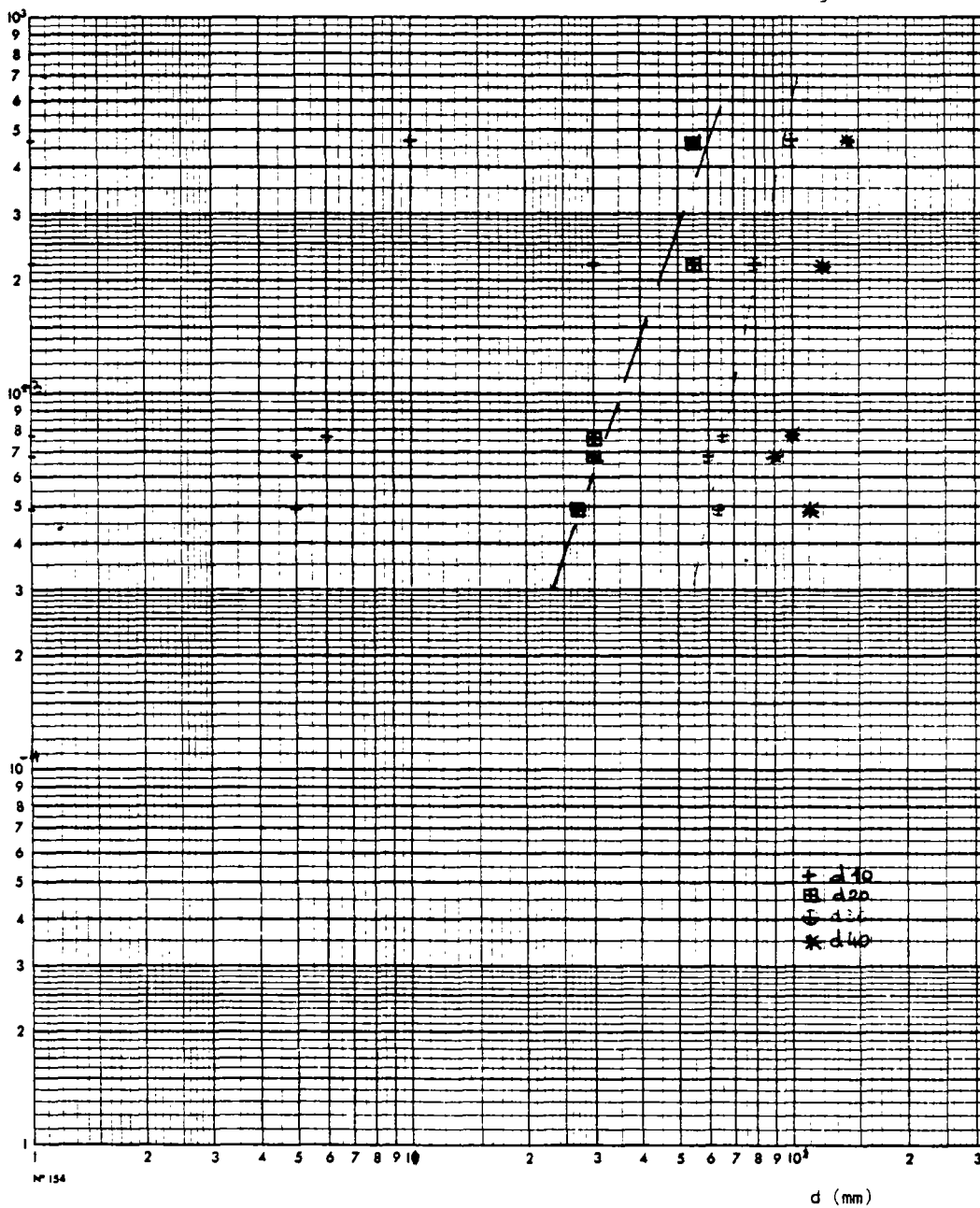
(*) - Implantation de l'ENS à Lyon-Gerland (69). Caractéristiques piézométriques, thermiques et chimiques de la nappe phréatique. D. ROUSSELOT. Rapport n° 82 SGN 433 RHA.

Fig. 32 a -



k "Brillant" (m/s)

Fig. 32 b -



INSTITUT PASTEUR DE LYON

Téléph. (7) 072-35 09
Lyon 6^e arrondissement

INSTITUT BACTÉRIOLOGIQUE
Reconnu d'utilité publique (Décret du 27 Juin 1903)
LABORATOIRE ENREGISTRÉ SOUS LE N° 68-17

77, Rue Pasteur, 77
69365 - LYON CEDEX 2

LABORATOIRE RÉGIONAL D'HYGIÈNE APPLIQUÉE

Agencé pour le contrôle des eaux minérales et des eaux d'alimentation (1^{re} Catégorie)
Agencé pour le contrôle des effluents industriels.
Agencé pour le contrôle des produits diététiques et de régime.

Demande de : B.R.G.M.
43, Bd du 11 Novembre
BP 6083
69604 VILLEURBANNE, CEDEX.

Origine : V/ Ordre n° 126 du 30.6.81

Prélèvement : Effectué par l'Intéressé.

Section des Eaux

Feuille de Réponse

N° 5933 A 329,-
Réception le 1.7.81
Réponse le 17.7.81

RÉSULTATS D'ANALYSE D'EAU

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE - BILAN IONIQUE

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Odeur Inodore Couleur 5 Turbidité (gouttes de mastic) < 5

pH à °C (sur le terrain) pH à 20°C (au Laboratoire) 7,50

Résistivité à 20°C (en ohms cm) 1 700 Conductivité à 20°C (en µmhos/cm) 585

ANALYSE DES GAZ

Anhydride carbonique libre (en CO₂) : 8 mg/l

Hydrogène sulfuré (en H₂S) : 0 mg/l

Oxygène dissous : 8,0 mg/l

Chlore résiduel total : 0 mg/l

AGRESSIVITE AU MARBRE

	AVANT MARBRE		APRES MARBRE		Résultats à 20°C *
	méq/l	mg/l en CaO	méq/l	mg/l en CaO	
pH	7,50		7,40		(3)
T.A.C.	3,60	101	3,45	97	

* (1) : eau à l'équilibre calco carbonique - (2) : eau agressive - (3) : eau incrustante.

CARACTERISTIQUES GÉNÉRALES

Résidu sec à 110 C 417 à 500 C 293 mg/l

Oxygène cédé par le permanganate, à chaud, en milieu alcalin (indice de matières organiques) 1,60 mg/l

TH : Titre hydrotimétrique ou dureté totale 24,05 degrés français : 1

T.A.C. : Titre alcalimétrique complet 18,0 degrés français : 1

T.A. : Titre alcalimétrique 0 degrés français : 1

Silice soluble (en Si O₂) 10,6 mg/l

COMPOSITION IONIQUE

CATIONS	mg/l	méq/l	ANIONS	mg/l	méq/l
TH : Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺		4,97	IAC : CO ₃ ⁻ + HCO ₃ ⁻		3,60
Calcium : Ca ⁺⁺	89	4,45	TA : 1/2 CO ₃ ⁻		0
Magnésium : Mg ⁺⁺	6,3	0,52	Carbonate : 2 TA		0
Sodium : Na ⁺	28	1,20	Bicarbonate : HCO ₃ ⁻	220	3,60
Potassium : K ⁺	8,0	0,20	Chlorure : Cl	23	0,65
Ammonium : NH ₄ ⁺	0,10		Sulfate : SO ₄ ⁻	83	1,73
Fer : dissous	15,6		Nitrate : NO ₃ ⁻	24	0,39
Manganèse : Mn ⁺⁺	1,4		Nitrite : NO ₂ ⁻	0,02	
			Phosphate : PO ₄	0,30	0,01
			Silicate : HSiO ₃ ⁻		
Total des cations		6,37	Total des anions		6,38

CONCLUSIONS

A noter un important dépôt de rouille au fond du flacon de prélèvement.

Eau moyennement minéralisée, de dureté accentuée, principalement bicarbonatée calcique, très ferrugineuse.

Eau incorrecte à cause des taux en fer et en manganèse.

Le Chef de Service

10

Les résultats de l'analyse chimique effectuée en 1981 confirment l'intérêt que peut présenter une simulation géochimique du cycle thermique retenu.

332 - TEMPERATURE DE L'EAU DE LA NAPPE

Du suivi thermométrique maintenu de mai 1981 à juin 1982, on ne peut tirer de conclusion quant aux fluctuations naturelles de la température de l'eau de la nappe : en effet, il semble que le point d'observation ait été implanté dans une zone influencée par des rejets d'eau chaude en été (climatisation) et par des rejets d'eau froide en hiver.

Des observations effectuées chaque mois sur le point S 52 situé à 200 mètres du Rhône (fig. 21), indiquent une température variant entre 12° et 12,3°C de juin et décembre 1983, alors que des rejets d'eau chaude en hiver ne permettent pas de connaître les fluctuations inter-saisonnnières. Les enregistrements thermographiques en cours permettront de mieux connaître les variations de température de la nappe au droit du site.

333 - FLUCTUATIONS PIEZOMETRIQUES

En raison de la proximité du Rhône, à l'Ouest, et du port Edouard Herriot, au Sud, dont les niveaux sont régularisés par le barrage de Pierre-Bénite, les fluctuations du niveau piézométrique de la nappe sont très faibles à Gerland.

Dans les conditions d'exploitation de fin 1981, les niveaux caractéristiques sont les suivants sur la partie nord du site de l'E.N.S. :

- niveau le plus fréquent : 159,3 m NGF
- niveau de crue annuel : 160,0 m NGF
- niveau de crue décennal : 160,8 m NGF

4 - CONCLUSIONS

Les travaux et essais réalisés ont permis :

- de préciser la lithologie des terrains au droit de l'enceinte de stockage,
- de connaître plus exactement la profondeur du mur des alluvions sablo-graveleuses (entre 19,5 et 20,3 m sous le T.N.),
- de s'assurer qu'aucun horizon limoneux n'est baigné par la nappe des alluvions,
- de savoir que les perméabilités horizontales varient modérément sur toute la hauteur de l'aquifère (k compris entre 5.10^{-4} et 5.10^{-3} m/s d'après les essais "Brillant").

ANNEXE 1

LYON GERLAND ENS
SONDAGES DE RECONNAISSANCE
COUPES DES SONDAGES : S1,
S2, S3.

Cotes	Profondeurs	Terrains traversés	Mode et ϕ de perforation	Dates	Observations
	0,00				
	1.00	beaucoup de graviers peu sableux, quelques blocs de l'ordre de 8 à 10 cm	PERCUSSION A LA CREUPE ϕ 7" A L'EAU CLARE	MOIS DE DECEMBRE 1983	forage vertical équipé avec tube PVC ϕ 40 x49 avec tube fer en tete et cado-nas (tube piézo 16m lisse et 4 m cré-piné)
	1.80	graviers de 1 à 3 cm avec quelques blocs. remblais de surface			
	2.50	graviers sableux et quelques blocs			
	3.70	limon jaunatre foncé sableux			
	5.00	graviers de 1 à 3 cm et blocs de l'ordre de 10 cm légèrement lamoneux			
	7.80	graviers, galets et blocs, sable moyen			
	10.50	petits graviers, galets et blocs dans sable grossier			
	12.60	présence de nombreux blocs de l'ordre de 10 cm, graviers, petits galets et sable plutot fin de couleur jaune			
	16.60	graviers de 1 à 3 cm, galets et quelques blocs (3 de 10 cm) et sable de couleur jaune grisatre			
	19.50	peu de graviers, quelques galets, blocs nombreux de l'ordre de 10 à 12 cm beaucoup de sable			
	20.50	molasse de couleur rouille légèrement sableuse			

NIVEAUX D'EAU: le 21.12.83 = 3.00 m
 le 22.12.83 = 5.53 m le soir
 le 23.12.83 = 5.49 m le matin

Cotes	Profondeurs	Terrains traversés	Mode et ϕ de perforation	Dates	Observations
	0.00				
	1.00	remblai:graviers;galets et sable	PEROUSSION A LA CURETTE ϕ 7" A L'EAU CLAIRE	MOIS DE JANVIER 1984	forage vertical équipé avec tube PVC ϕ 40x49 avec tube fer en tete et cadenas
	2.00	graviers de 1 à 3 cm et quelques blocs de 6 à 10 cm, très peu sableux			
	2.60	graviers, galets et trois blocs dont deux de 11 cm environ			
	3.60	limon de couleur jaunatre			
	4.20	petits graviers, quelques galets de petites tailles, beaucoup de sable grossier			
	5.00	nombreux galets, quelques graviers, peu sableux grossier			
	7.00	graviers de 1 à 3 cm, quelques galets, blocs peu nombreux de taille de l'ordre de 8 cm, sable grossier			
	11.10	graviers de toutes tailles, galets nombreux et sable grossier			
	12.00	petits graviers, quatre gros blocs de l'ordre de 8 à 12 cm, quelques petits galets, sable moyen			
	14.10	petits et moyens graviers, galets, deux blocs et sable moyen			
	15.00	petits graviers, galets, un bloc de 8 cm environ très peu sableux			
	17.00	petits et moyens graviers, quelques petits galets, légèrement sableux moyen			
	18.00	petits graviers crus			
	19.00	graviers, galets; un bloc, très sableux grossier			
	20.30	petits et moyens graviers, galets peu nombreux blocs vers la fin, très sableux grossier en tete			
	21.40	molasse de couleur rouille avec des traces de sable et de tout petits cailloux			

NIVEAUX D'EAU : le 3.1.84 = 5.15 m le soir
le 4.1.84 = 5.30 m le soir
le 5.1.84 = 5.30 m

Cotes	Profondeurs	Terrains traversés	Mode et ϕ de perforation	Dates	Observations
	0.00				
	0.50	graviers, galets, sable, avec un bloc de 10 cm	PERCUSSION A LA CRETEIE ϕ 7 " A L'EAU CLAIRE	MOIS DE JANVIER 1984	forage vertical équipé avec tube PVC ϕ 80 x 90 avec tube fer en tete et cadenas essais d'eau Le-franc: voir rapport 13 1813.202 pour les niveaux d'eau, voir essai d'eau sur plan 202
	1.40	petits et gros graviers, quelques galets, sableux			
	2.50	limon de couleur marron clair avec quelques graviers de petites tailles			
	3.50	limon de couleur marron clair avec quelques petits graviers			
	3.90	graviers enrobé de limon marron			
	4.50	graviers, quelques galets de 4 à 6 cm, trace de sable			
	5.50	graviers de 1 à 3 cm très sableux moyen en tete, quelques galets de 5 à 6 cm			
	6.40	graviers de 1 à 2 cm, 2 ou 3 galets de 4 à 6 cm, très sableux grossier.			
	7.00	graviers, galets de 5 à 6 cm, très peu sableux			
	8.00	graviers de 1 à 3 cm très sableux, un bloc de 10 cm, quelques galets			
	9.00	peu de graviers, beaucoup de galets de l'ordre de 5 cm, 1 bloc de 9 cm, sableux grossier			
	11.00	graviers de 0.5 à 2 cm, un bloc en tete de 8 cm, galets de taille variable, sable grossier			
	12.60	graviers, galets très sableux moyen			
	14.70	graviers de 1 à 3 cm, galets de l'ordre de 4 cm, un bloc de 6 cm en tete, sableux moyen			
	16.70	graviers de 0.5 à 3 cm, galets de 4 à 6 cm, sableux grossier			
	18.60	graviers de 0.5 à 2 cm, galets de 4 à 5 cm, un bloc de 7 cm vers le bas, sableux grossier			
	19.90	petits graviers de 0.5 à 2 cm, galets de 4 à 5 cm, un bloc de 8 cm et un de 14 cm, sableux grossier			
	21.00	molasse de couleur rouille avec quelques tout petits graviers			

ANNEXE 2

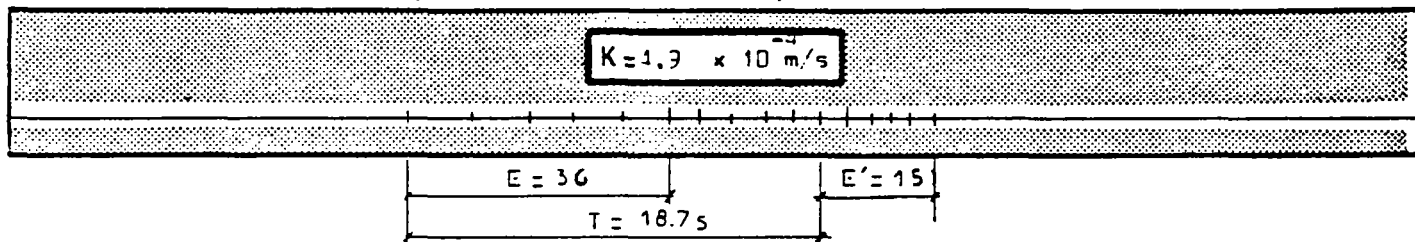
ESSAIS DE PERMEABILITE REALISES
A L'APPAREIL "BRILLANT"
(par Solétanche-Entreprise).

Graphiques des enregistrements

SONDAGE S 3

Essai n° 1 de 7,34 à 7,84 m N.E. = 5.88 m

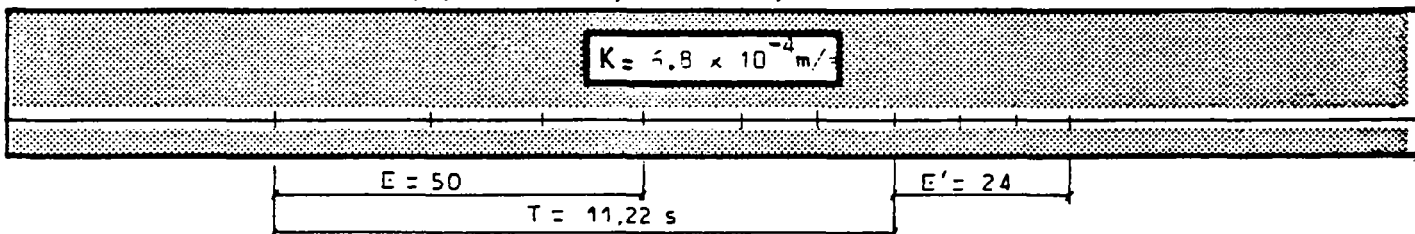
$L = 0.5 \text{ m}$, $\phi = 0.19 \text{ m}$, $C = 1.9 \text{ m}$, $S_{\text{intérieure}} = 0.02 \text{ m}^2$



SONDAGE S 3

Essai n° 2 de 10,50 à 11,00 m N.E. = 5.89 m

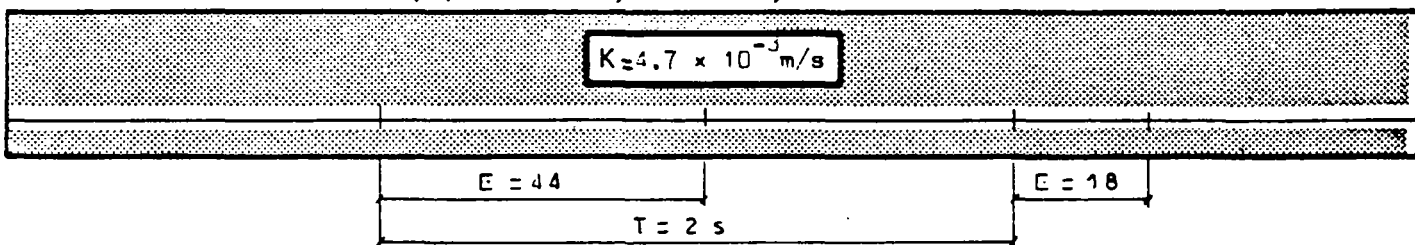
$L = 0.5 \text{ m}$, $\phi = 0.19 \text{ m}$, $C = 1.9 \text{ m}$, $S_{\text{intérieure}} = 0.02 \text{ m}^2$



SONDAGE S 3

Essai n° 3 de 13,60 à 14,10 m N.E. = 5.88 m

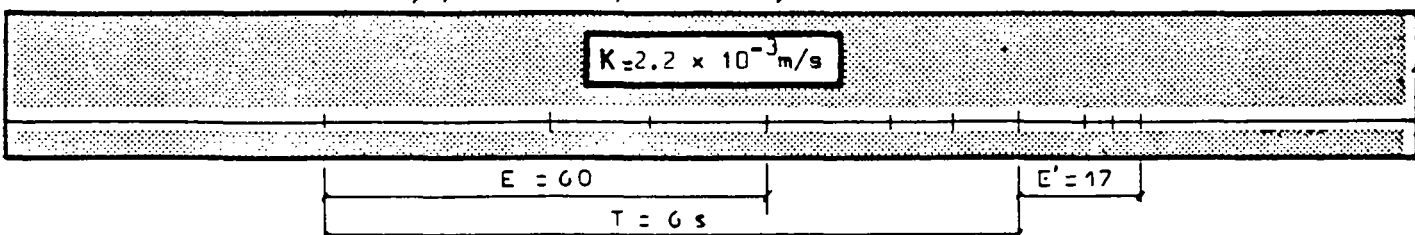
$L = 0.5 \text{ m}$, $\phi = 0.19 \text{ m}$, $C = 1.9 \text{ m}$, $S_{\text{intérieure}} = 0.02 \text{ m}^2$



SONDAGE S 3

Essai n° 4 de 16,20 à 16,70 m N.E. = 6.39 m

$L = 0.5 \text{ m}$, $\phi = 0.19 \text{ m}$, $C = 1.9 \text{ m}$, $S_{\text{intérieure}} = 0.02 \text{ m}^2$



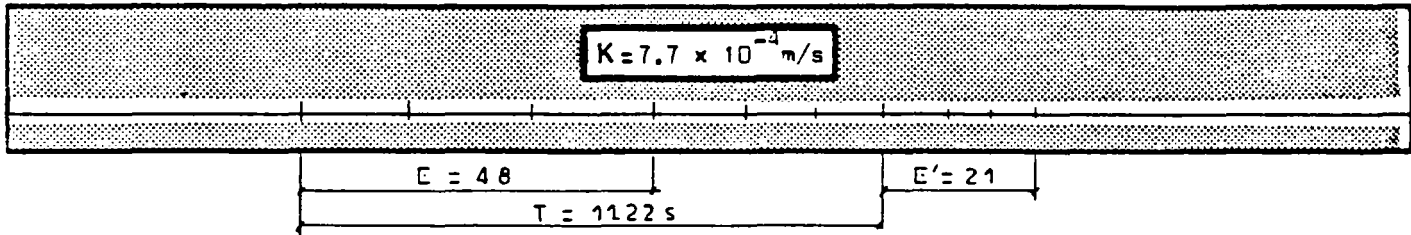
ESSAIS DE PERMÉABILITÉ PONCTUELS TYPE "LEFRANC"
RÉALISÉS A L'APPAREIL "BRILLANT"

Graphiques des enregistrements

SONDAGE 53

Essai n° 5 de 19,20 à 19,70 m N.E. = 6.58 m

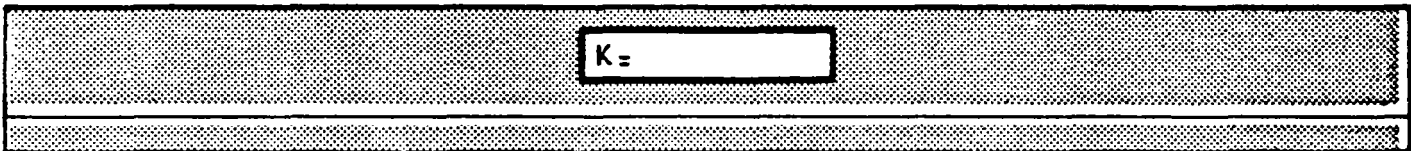
L = 0.5 m , ϕ = 0.19 m , C = 1.9 m , S intérieure = 0.02 m²



SONDAGE

Essai n° de , à , m

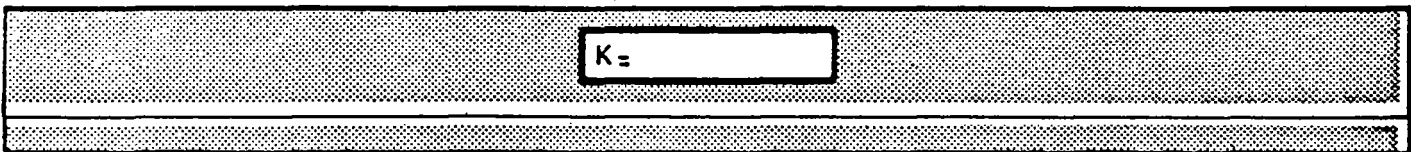
L = m , ϕ = m , C = m , S intérieure =



SONDAGE

Essai n° de , à , m

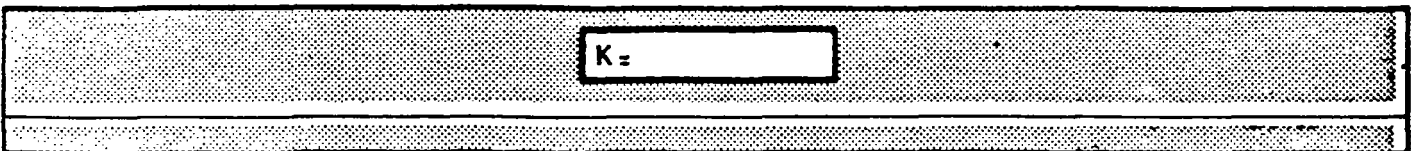
L = m , ϕ = m , C = m , S intérieure =



SONDAGE

Essai n° de , à , m

L = m , ϕ = m , C = m , S intérieure =



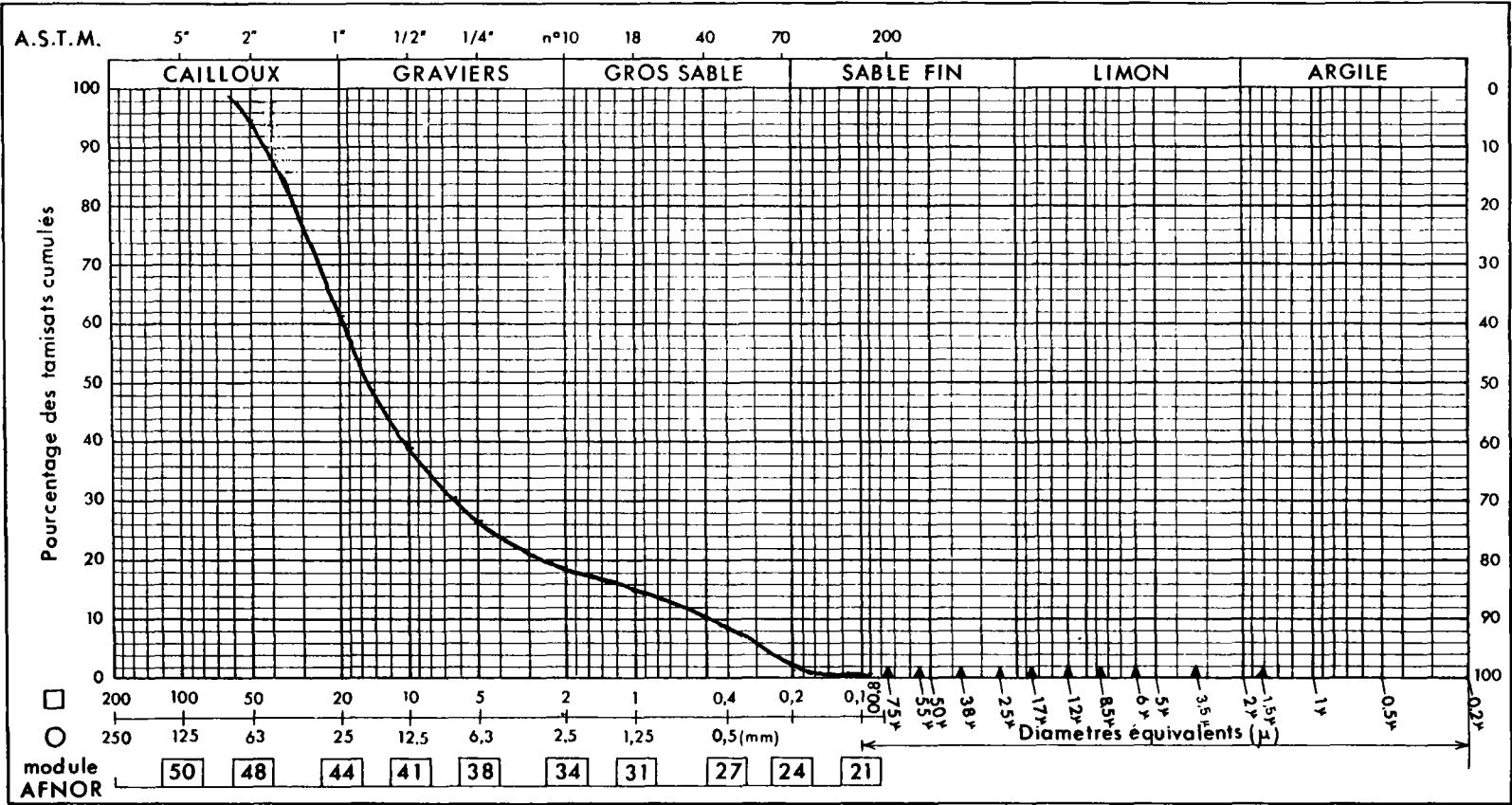
ANNEXE 3

ANALYSES GRANULOMETRIQUES
SUR SONDAGE S3.

ETUDE : E.N.S. GERLAND
SONDAGE OU PUIS : S.3
PROFONDEUR : 7.3 m / 7.8 m
IDENTIFICATION :

Référence :				
Identification				
W nat				
γ_d :				
W_L :				
W_p :				
I_p :				
Cl. terrassement				

Service Géologique Régional
RHONE-ALPES

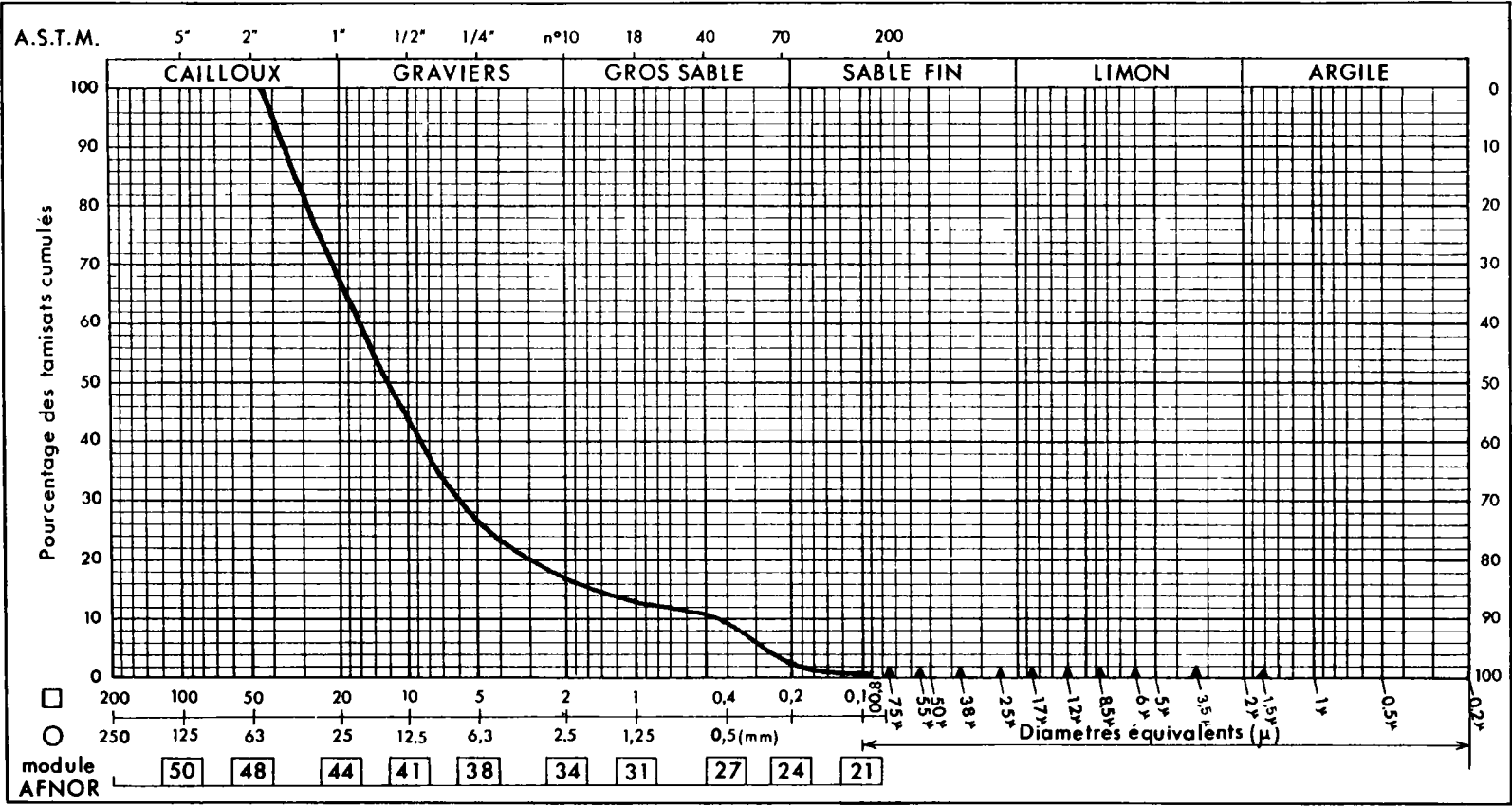


ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ETUDE : E.N.S. GERLAND
SONDAGE OU PUIS : S.3
PROFONDEUR : 10.5 m / 11.0 m
IDENTIFICATION :

Référence :				
Identification				
W nat				
γ_d :				
W_L :				
W_p :				
I_p :				
Cl. terrassement				

Service Géologique Régional
RHONE-ALPES



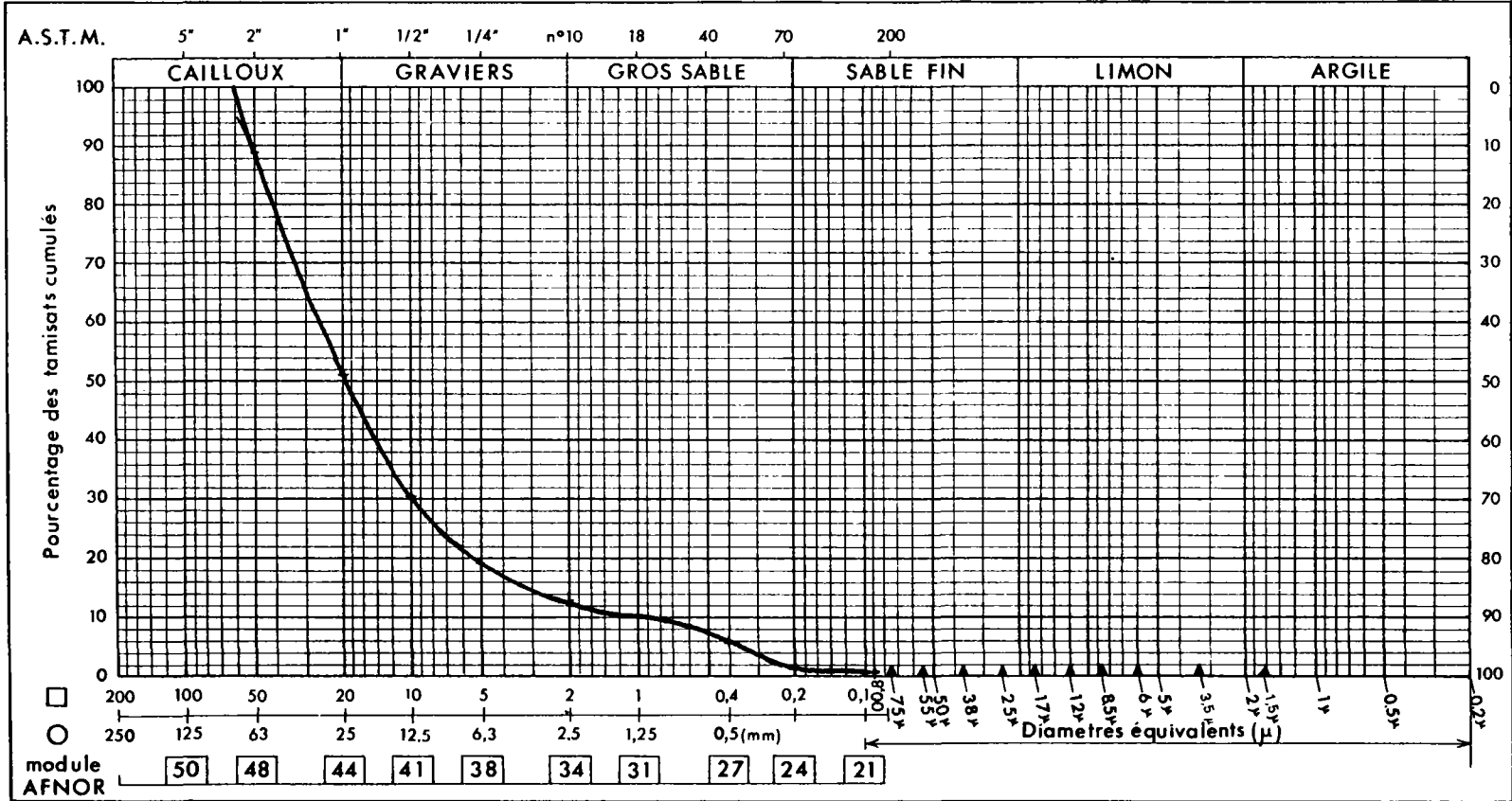
ETUDE : E.H.S. GERLAND
SONDAGE OU PUIITS : S.3
PROFONDEUR : 13.6m / 14.1m
IDENTIFICATION :

Référence :				
Identification				
W nat				
γ_d :				
W_L :				
W_p :				
I_p :				
Cl. terrassement				

Service Géologique Régional
RHONE-ALPES



ANALYSE GRANULOMETRIQUE



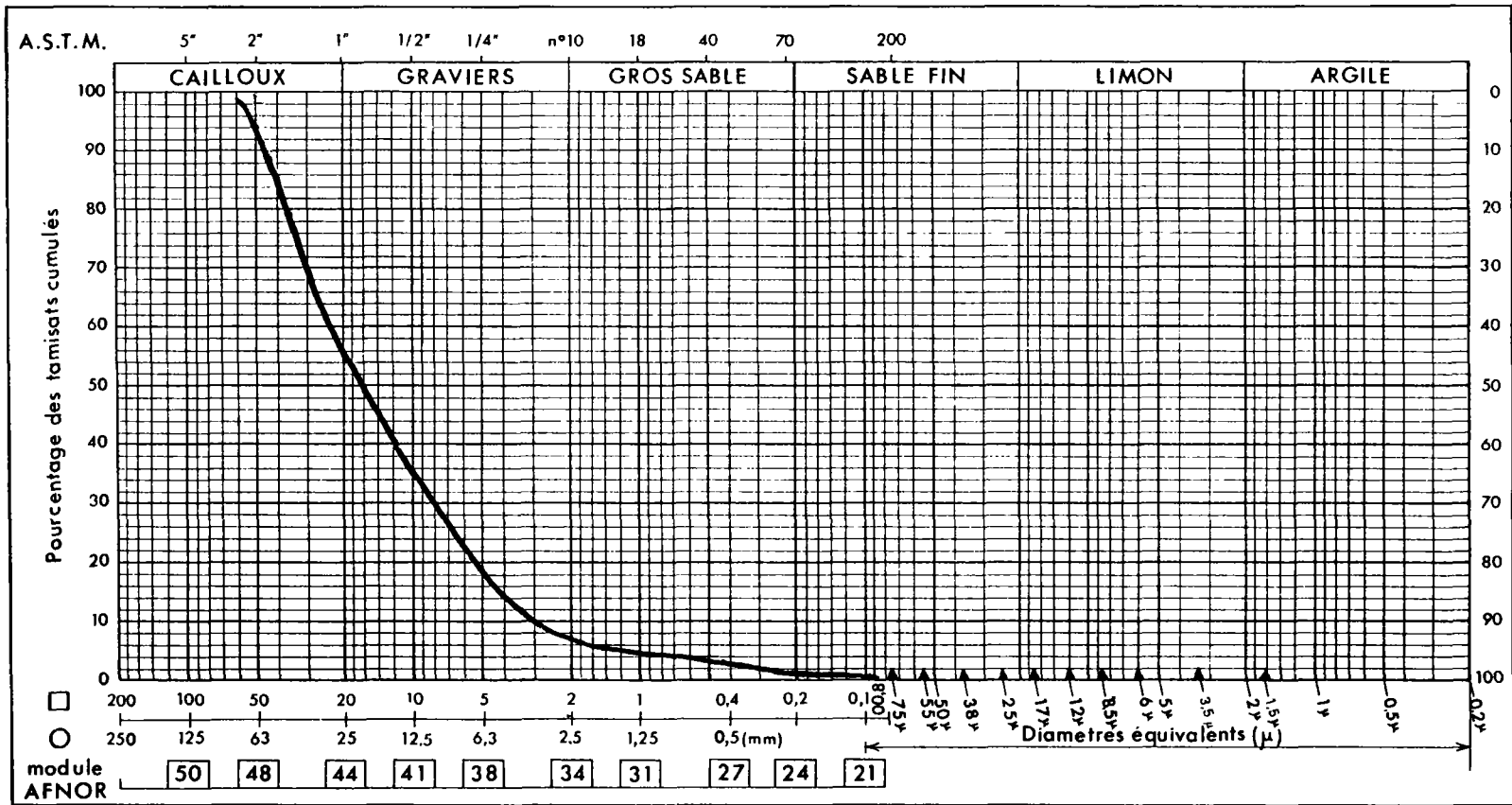
ETUDE : E.M.S. GERLAND
SONDAGE OU PUIS : S.3.
PROFONDEUR : 16.2m/16.7m
IDENTIFICATION :

Référence :				
Identification				
W nat				
γ_d :				
W_p :				
W_p :				
I_p :				
Cl. terrassement				

Service Géologique Régional
RHONE-ALPES



ANALYSE GRANULOMETRIQUE

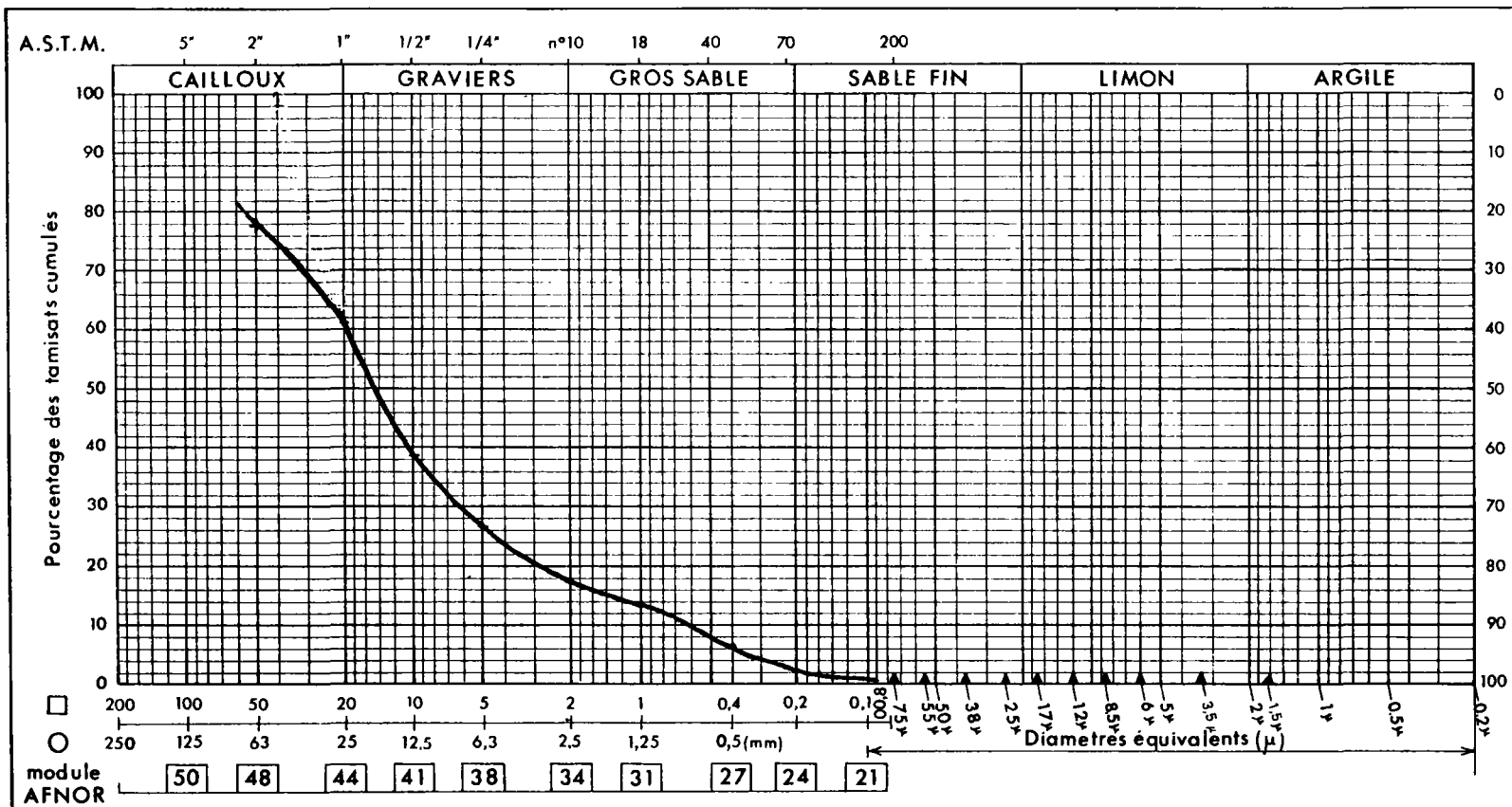


ETUDE : E.N.S. GERLAND
SONDAGE OU PUIS : S.3
PROFONDEUR : 19.2m / 19.7 m
IDENTIFICATION :

Référence :				
Identification				
W nat				
γ_d :				
W_f :				
W_p :				
I_p :				
Cl. terrassement				



ANALYSE GRANULOMETRIQUE



ANNEXE 4

COUPE DES SONDAGES S11, S15, et S23
AVEC PERMEABILITES "LEFRANC".

AMÉNAGEMENT DE PIERRE-BÉNITE

698-6S-co M

SONDAGE Béarnaise N° S 275

Commencé le 2 JUILLET 1962

Terminé le 3 " 1962

ÉCHELLE 1/50

DROIT PROJET - GERLAND

Coordonnées { X : 795 487.63
Y : 83305.2

COTES N.G.F.	PROFONDEUR	AVANCEMENT JOURNALIER	NATURE DES TERRAINS TRAVERSES	POURCENTAGE DE CAROTTES ET GERMINATION	OBSERVATIONS	
					COTE DE L'EAU	OUTILS
146.00	0.00					
143.50	0.50		Remblai			
		2.7	Sable limoneux.			
140.50	3.50	6.00	Gravier, galets, peu de sable			
138.00	6.00		Sable, gravier, galets.			
135.00	9.00	3.7	Sable, gravier, galets.			Soupepe 6"
134.50	9.50	4.00	Sable, gravier, galets.			
132.50	11.50	4.7	Sable, gravier, galets.			
130.50	13.50	5.7	Sable fin argileux et gravier.			
127.50	16.50	6.7	Sable, gravier, galets.			Soupepe 5"
124.50	19.50	7.7	Argile dure compacte			
121.50	22.50	9.7	Grès	80%		Carottier dur 110 m/ja
120.00	26.00	3.20				

SEFONS le 20 JUILLET 1962

AMÉNAGEMENT DE PIERRE-BÉNITE

SONDAGE Béarnaise N°S 283

698-65-0015

Commencé le 20 Août 1962

Terminé le 29 Août 1962

ÉCHELLE 1/50,

Rue Chatelet Lour

Carottes (2 : 75 à 170 03
V : 82, 108 10

COTES NG.F.	PROFONDEUR	AVANCEMENT JOURNALIER	NATURE DES TERRAINS TRAVERSES	POURCENTAGE DE CAROTTES DE PERMEABILITE	OBSERVATIONS	
					ÉTAT DE L'EAU	UTILIS.
168.82	0.00					
168.30	2.50	4.21 à 6.62	Remblai	2m x 0.007 m ³		
169.00	4.00	4. 6.00	Limes et graviers	2m x 0.007 m ³		
169.00	4.00		Sable graveiers quelques galets	2m x 0.007 m ³		
168.00	6.00			2m x 0.007 m ³		
		4.22 à 4.24 4. 2.00	Sable	2m x 0.035 m ³		
		4.22 à 4.24 4. 3.00	Graviers	2m x 0.780 m ³		
			Galets	2m x 2.270 m ³		
				2m x 1.190 m ³		
				2m x 0.465 m ³		
		4.20 à 4.22 4. 3.00	Sable grossier Graviers Galets	2m x 1.135 m ³		
		4.25 à 4.26 4. 1.00	Sable fin Graviers Galets	2m x 2.25 m ³		
		4.27 à 4.28 4. 4.00	Sable grossier	15m x 1.135 m ³		
			Graviers	16m x 0.873 m ³		
			Galets	17m x 4.400 m ³		
		4.28 à 4.29 4. 3.00		18m x 0.920 m ³		
				19m x 1.175 m ³		
				20m x 1.160 m ³		
			Sable molasse Graviers Débris molasse	22m x 0.920 m ³		
		4.28 à 4.29 4. 2.40	Sable molasse Lunettes molasse dure.	22m x 0.920 m ³		
			Grès, galets d'argile Conglomats grise argilue	22m x 0.920 m ³		
167.50	25.00					

Carotte 6°

Carotte 5°

Carotte double 4/50

AMÉNAGEMENT DE PIERRE-BÉNITE

SONDAGE Béarnaise N° S. 230

698-6S-0023

Commencé le 21 NOVEMBRE 1961 Angle Avenue Jean Jaurès
 Terminé le 24 NOVEMBRE 1961 et ... Lits Cortinaf

ÉCHELLE 1/50

Coordonnées X: 736.463.75
 Y: 83.700.31

COTES N.G.F.	PROFONDEUR	AVANCEMENT JOURNALIER	NATURE DES TERRAINS TRAVERSES	POURCENTAGE DE CAROTTES	OBSERVATIONS	
					COTE DE L'EAU	OUTILS
152.52	0.00					
		21.11: 7.30	Remblai.			
157.02	7.50		Gravier. Galets.	0.50		Soupage 6"
155.82	9.20		Sable. Gravier. Galets.	0.50		
153.62	11.00	22.11: 6.00	Sable.	0.50		
151.72	12.80		Sable. Gravier. Galets.	0.50		
148.62	15.90	23.11: 5.50	Sable. Galets.	0.50		
146.22	19.30		Gros galets. Argile.	0.50		Soupage 5"
143.52	21.00	24.11: 6.00	Blocs de granit. Argile.			
141.02	23.50		Sable argileux avec débris de grès.			
139.52	25.00					

Sifons le 6.12.1961.



JR

ENS - LYON GERLAND

ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE D'UN PROJET DE STOCKAGE CONFINÉ EN NAPPE PHRÉATIQUE

3

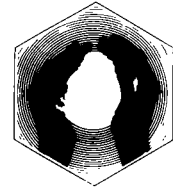
*BILAN THERMIQUE DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE
DES INSTALLATIONS DE SURFACE*

B. R. G. M. \

- 2. NOV. 1984

BIBLIOTHÈQUE

PIERRE MORVAN



ENS - LYON GERLAND

ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNICO-ÉCONOMIQUE D'UN PROJET DE STOCKAGE CONFINÉ EN NAPPE PHRÉATIQUE

3

BILAN THERMIQUE DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES INSTALLATIONS DE SURFACE

PIERRE MORVAN

Ingénieur-Conseil

15, rue Eugène Sue

92500 RUEIL-MALMAISON

Tél.: 749.04.05

Rueil-Malmaison, le 3 Mai 1984

PIERRE MORVAN
INGÉNIEUR-CONSEIL

15. RUE EUGÈNE SUE
92500 RUEIL-MALMAISON
TÉL. 749 04-05

RUEIL-MALMAISON. LE 3 Mai 1984

PROJET DE CONSTRUCTION D'UNE
ECOLE NORMALE SUPERIEURE A
LYON

Bilan thermique et de consommation énergétique
dans l'hypothèse d'utilisation d'une pompe à
chaleur sur eau de nappe et d'une capacité créée
sur le terrain de stockage intersaisonnier d'eau
chaude délivrée par une usine d'incinération d'
ordures.

Etude du stockage réalisée par :

B.R.G.M.

Bureau de Recherches
Géologiques et minières
B.P. 6009
45060 ORLEANS CEDEX

Société SOL - EXPERT
INTERNATIONAL

B.P. 515
92005 NANTERRE CEDEX

1°) PUISSANCES A METTRE EN OEUVRE

- Température extérieure de base	=	- 10° c
- Température extérieure de base	=	+ 19° c
- Température extérieure d'entretien	=	+ 12° c
- Nombre de degrés-jour pour + 19° c	=	2.500
- Nombre de degrés-jour pour + 12° c	=	1.450
- Température de base de jour compte tenu des apports	=	+ 17° c
- Nombre de jour de chauffage de jour	=	227 J.
- Nombre de jour de chauffage hors occupation	=	187 J.
- Puissance à couvrir par les radiateurs pour les conditions de base de jour	=	1.220 Kw
- Puissance à couvrir pour le traitement d'air	=	760 Kw
- Soit un total de jour	=	1.980 Kw
- Puissance à couvrir hors occupation pour obtenir + 12° c par les radiateurs seuls	=	930 Kw
- Puissance de la P.A.C. en puissance calorifique	=	350 Kw

2°) COUVERTURE DE LA P.A.C.

- Températures limites extérieures pour lesquelles la P.A.C. couvre la totalité des besoins	
• période d'occupation	= + 14° c
• période d'inoccupation	= + 4° c
- Nombre de jours correspondants	
• période d'occupation	= 28 sur 227 jours
• période d'inoccupation	= 127 sur 187 jours
- Période d'activité du stockage en période d'inoccupation = 60 jours sur 187 soit en principe entre le 15 décembre et le 15 février.	

3°) REPARTITION DE LA CONSOMMATION CALORIFIQUE SUR L'ANNEE

	<u>Nombre de degrés</u> <u>jours</u>	<u>Pourcentage</u>
OCTOBRE	190	7,6 %
NOVEMBRE	333	13,3 %
DECEMBRE	474	19,0 %
JANVIER	484	19,4 %
FEVRIER	399	16,1 %
MARS	322	12,9 %
AVRIL	216	8,6 %
MAI (jusqu'au 15)	75	3,1 %
	<u>-----</u>	<u>-----</u>
Totaux	2.493	100,0 %
arrondi à	<u>2.500</u>	

.../...

4°) REPARTITION DE LA CONSOMMATION COUVERTE PAR LES 2 TYPES D'ENERGIE

a) Pendant les heures ouvrables

• par la P.A.C. et en dehors de la période d'écrêtement jour de pointe E.J.P., située entre le 15 Janvier et le 15 Février, en principe		
- Pour le réseau radiateurs	279.000 Kw/h	
- Par les batteries d'air chaud	174.000	-----
Total P.A.C.		453.000
• par le stockage		
- Pour le réseau radiateurs	515.000	
- Pour les batteries d'air chaud	320.000	-----
		835.000
Dont pendant la période E.J.P. où la P.A.C. est arrêté (15-1 à 15-2 en principe)	245.000	
Soit pendant le reste du temps	590.000	
Total général en période d'occupation		<u>1.288.000Kw/h</u>

b) En dehors des heures ouvrables

• par la P.A.C., uniquement pour le réseau radiateurs 5 jours par semaine de nuit	276.000	
samedi et dimanche	236.000	-----
		512.000
• par le stockage de nuit la semaine	330.000	
; samedi et dimanche	184.000	-----
		514.000
Total général en période d'occupation		<u>1.026.000</u>
Total général annuel		<u>2.314.000</u>

5°) PRECHAUFFAGE D'EAU CHAUDE SANITAIRE

- Consommation journalière E.C.S. = 50 m3 jour
- Température d'eau de ville en hivuer = + 10°c par - 10° c
+ 12°c par + 10° c
- Température de retour de l'eau au stockage = 25° c

Le préchauffage dépend de la température de sortie de la batterie de chauffe, donc finalement de la température extérieure.

Pour - 10° : $(49 - 25) \times 105 \text{ m}^3 = 2,520 \text{ th}$ théorique/heure disponible
(de +10°c à +35) $\times 50 \text{ m}^3 = 1,750 \text{ th}$ par jour utilisable

.../...

Pour 0° : $(36,5-25) \times 105 \text{m}^3 = 1.208 \text{ th théorique/heure}$
(de +10°c à +30°) $\times 50 \text{m}^3 = 1,500 \text{ th par jour utilisable}$

Pour + 10° : Aucune possibilité théorique pratiquement puisque avec de l'eau à + 22,5° on ne peut espérer remonter l'eau de ville que de + 12°c à + 15°c.

Soit $3 \times 50 = 150 \text{ th par jour}$, ce qui est négligeable compte tenu de la consommation des pompes.

6°) STOCKAGE JOURNALIER

Pendant la période du 15 Décembre au 15 Février de l'eau à 65° est nécessaire. Si l'eau du stockage était redescendue à 55° on pourrait la remonter de nuit par une hydro-accumulation.

- Contenance de la citerne 80 m³

- Puissance de la chaudière électrique 400 Kw

7°) COURBES D'EVOLUTION DES CORPS DE CHAUFFE

Elles sont représentées en annexe jointe.

Le fluide chauffant est d'abord utilisé dans les radiateurs à une température d'entrée de 65° pour une température extérieure de - 10°

Il passe ensuite dans les batteries de chauffe des caissons de traitement d'air et est utilisé pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire : on obtient ainsi la chute la plus importante, favorable au stockage.

De nuit la température de l'eau pour - 10°c extérieur est ramenée de 65° à 57°c puisque la puissance passe de 1.220 à 930 Kw.

Les pentes de régulation des radiateurs sont différentes de jour et de nuit car dans ce dernier cas on ne bénéficie pas d'apports correspondant à un gain de 2°c sur la température intérieure.

On a choisi une chute de 10° dans les radiateurs, parce qu'une valeur plus faible entraîne une augmentation du débit et donc du diamètre des tuyauteries.

La courbe d'évolution de la batterie ne suit pas celle de la puissance nécessaire (rendement moins bon pour les températures élevées de l'air extérieur). En mettant en série les radiateurs puis les batteries on n'est pas maître de la température d'entrée d'eau dans celles-ci. Il faut donc surdimensionner la batterie de 10% environ.

Courbes d'évolution des corps de chauffe

