

RAPPORT

SUR LES ETUDES DE PLAN D'AMENAGEMENT DES
INSTALLATIONS DE CAPTAGE DES RESSOURCES
HYDROLOGIQUES NECESSAIRES A L'EXPLOITATION
DES MINES D'URANIUM DANS LA REGION
AUSUD-OUEST DE L'AR DE LA REPUBLIQUE DU NIGER

JUIN 1979

AGENCE NATIONALE DE LA COOPERATION INTERNATIONALE



523

66.5

MPN

13628

JICA LIBRARY



1064682[6]

國際協力事業団	
貸入 月日 84.9.26	523
登録No. 9101	66.12 MPN

AVANT-PROPOS

Le gouvernement du Japon a chargé l'Agence japonaise de la Coopération Internationale d'effectuer des études sur le plan d'aménagement des installations nécessaires à l'exploitation des mines d'uranium de la République du Niger.

Répondant à cette requête, elle a envoyé au Niger une mission d'étude composée de 7 membres et dirigée par M. Masami ONO (Yachiyo Engineering S.A.) pour une période de 117 jours du 12 décembre 1978 au 7 avril 1979.

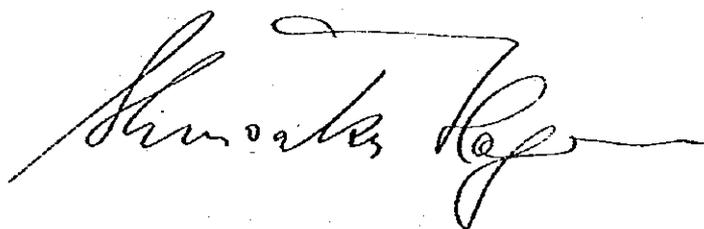
Grâce au concours du gouvernement et des diverses organisations gouvernementales de la République nigérienne, la mission a pu terminer, comme prévu, ses enquêtes sur place. De retour au Japon, après avoir étudié et conçu le plan en se fondant sur les résultats d'enquête ainsi que sur les documents recueillis, elle vient de mettre au point la rédaction du présent rapport.

Les dites études ont pour but, d'une part, de prévoir l'aménagement des installations de captage des ressources hydrologiques nécessaires à l'exploitation de mines d'uranium et, d'autre part, d'effectuer l'examen technique et financier de ces installations.

Nous souhaitons que ce rapport soit utile au développement économique de la République nigérienne et au renforcement de l'amitié nippono-nigérienne, et qu'il contribue, par la même occasion, à l'exploitation des mines d'uranium.

Enfin, nous voudrions exprimer notre profonde reconnaissance au Gouvernement nigérien, à l'Ambassade du Japon en Côte-d'Ivoire, au Ministère des Affaires Etrangères et au Ministère du Commerce et de l'Industrie pour les concours qu'ils nous ont apportés pour la conduite de cette enquête.

juillet 1979



Shinsaku HOGEN
Président,
Agence Japonaise de la
Coopération Internationale

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I	PREFACE	1
1-1	OBJECTIF DE L'ETUDE	1
1-2	ENSEMBLE DES RECHERCHES EFFECTUEES	1
1-3	GRANDES LIGNES DES ETUDES PRECEDEMMENT EFFECTUEES ET DES PRESENTES ETUDES	3
1-4	ORGANISATION DE LA MISSION D'ETUDES ET PROGRAMME DES ETUDES	5
CHAPITRE II	HYDROGEOLOGIQUE DE LA ZONE ENTRE TEGGUIDA IN TESSOUM ET AZELIK	7
2-1	CONTEXTE GEOLOGIQUE SOMMAIRE	7
2-2	SERIE STRATIGRAPHIQUE ET FACIES	11
2-3	NAPPES AQUIFERES	14
2-4	NIVEAU DE NAPPE AQUIFERE	16
2-5	TYPES D'EAU	17
CHAPITRE III	ESSAIS DE POMPAGE	23
3-1	LOCALISATION DES LIEUX OÙ ONT ETE EFFECTUES LES ESSAIS DE POMPAGE	23
3-2	STRUCTURE ET LOCALISATION DES PUIITS D'ESSAI	23
3-3	COUCHES GEOLOGIQUES DES LIEUX OÙ ONT ETE EFFECTUES LES ESSAIS	26
3-4	METHODE DES ESSAIS DE POMPAGE	30
3-5	RESULTATS DES ESSAIS DE POMPAGE	31
CHAPITRE IV	DETERMINATION DES ZONES FAISANT L'OBJET DE L'EXPLOITATION ..	37
4-1	EVALUATION DES EMBLACEMENTS OÙ ONT ETE EFFECTUES LES ESSAIS DE POMPAGE	37
4-2	VOLUME ESTIME DES RESERVES EN EAU SOUTERRAINE	38

4-3	DETERMINATION DES ZONES FAVORABLES A L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU ET DESCRIPTION DES PROBLEMES SOULEVES.....	40
CHAPITRE V	PROJET D'INSTALLATIONS DE CAPTAGE DES EAUX.....	43
5-1	BESOINS EN EAU.....	43
5-2	OBJECTIF DU PROJET DES PUIIS.....	44
5-3	ALIGNEMENT ET PROFONDEUR DES PUIIS.....	51
5-4	PROJET DES INSTALLATIONS DE CAPTAGE DES EAUX.....	53
5-5	ESTIMATION DES COUTS ET DELAIS DE CONSTRUCTION.....	60
CHAPITRE VI	PROPOSITION DE LA REALISATION DU PROJET ET DE L'ENTRETIEN DES PUIIS.....	63
6-1	RECHERCHES PREVUES POUR L'INSTALLATION DES PUIIS D'ALIMENTATION.....	63
6-2	ESSAIS DE POMPAGE AU COURS DE L'INSTALLATION DES PUIIS D'ALIMENTATION.....	63
6-3	ENTRETIEN DES PUIIS ET DE L'EAU SOUTERRAINE AU COURS DES OPERATIONS DE CAPTAGE.....	64

CHAPITRE 1. PREFACE

1-1 OBJECTIF DE L'ETUDE

Une exploitation des ressources d'uranium est menée conjointement par le gouvernement de la République du Niger et une entreprise japonaise (International Ressources S.A.) au gisement de Tegguidda in Tessoum au Sud-Ouest de la région de l'Air du Niger.

L'Agence japonaise de la Coopération Internationale a effectué une étude sur place pendant une durée de 41 jours du 11 février 1978 au 23 mars 1978, pour que l'aménagement des routes, des installations de captage de sources hydrologiques et des équipements sociaux dans les villes débouchent sur un essor économique décisif et sur une amélioration significative des conditions de vie.

Selon le rapport présenté en Août 1978 fondé sur les résultats de cette étude intitulé "Rapport sur les études du plan d'aménagement des installations relative à l'exploitation des mines d'uranium dans la Région au Sud-Ouest de l'Air de la République du Niger", il s'avère, nécessaire de confirmer, d'une part, la distribution verticale des nappes aquifères et la quantité de réserve d'eau souterraine, grâce à la mise en place de forage structuraux et de déterminer, d'autre part, la quantité et la qualité de l'eau souterraine au moyen d'essais de pompage, ces opérations étant, en effet, dictées par le projet d'aménagement des installations de captage des sources hydrologiques.

C'est dans cette optique que la présente étude a été réalisée. Elle vise, en effet, à assurer l'exploitation des ressources en eau, et à effectuer le projet des installations des eaux, en tenant compte, naturellement, des études précédemment effectuées.

1-2 ENSEMBLE DES RECHERCHES EFFECTUEES

Les études mentionnées ci-dessous ont été effectuées dans la zone de Tegguidda in Tessoum en vue de déterminer la structure géologique, les caractéristiques des nappes aquifères, la quantité et la qualité de l'eau souterraine grâce aux essais de pompage, ainsi que les zones où se trouvent les eaux souterraines de types bicarbonate de soude et sans carborate de soude.

Les études effectuées se présentent comme suit:

1) Etude géologique

- Vérification des données existantes:

Observation des carottes des forages de prospection, des forages hydrogéologiques précédemment

réalisés dans la région étudiée, analyse globale des résultats obtenus par les carottages physiques.

• Etudes géologiques et recherches sur la surface du terrain:

entre Tegguidda in Tessoum, Géléli et Azélik.

2) Essais de pompage

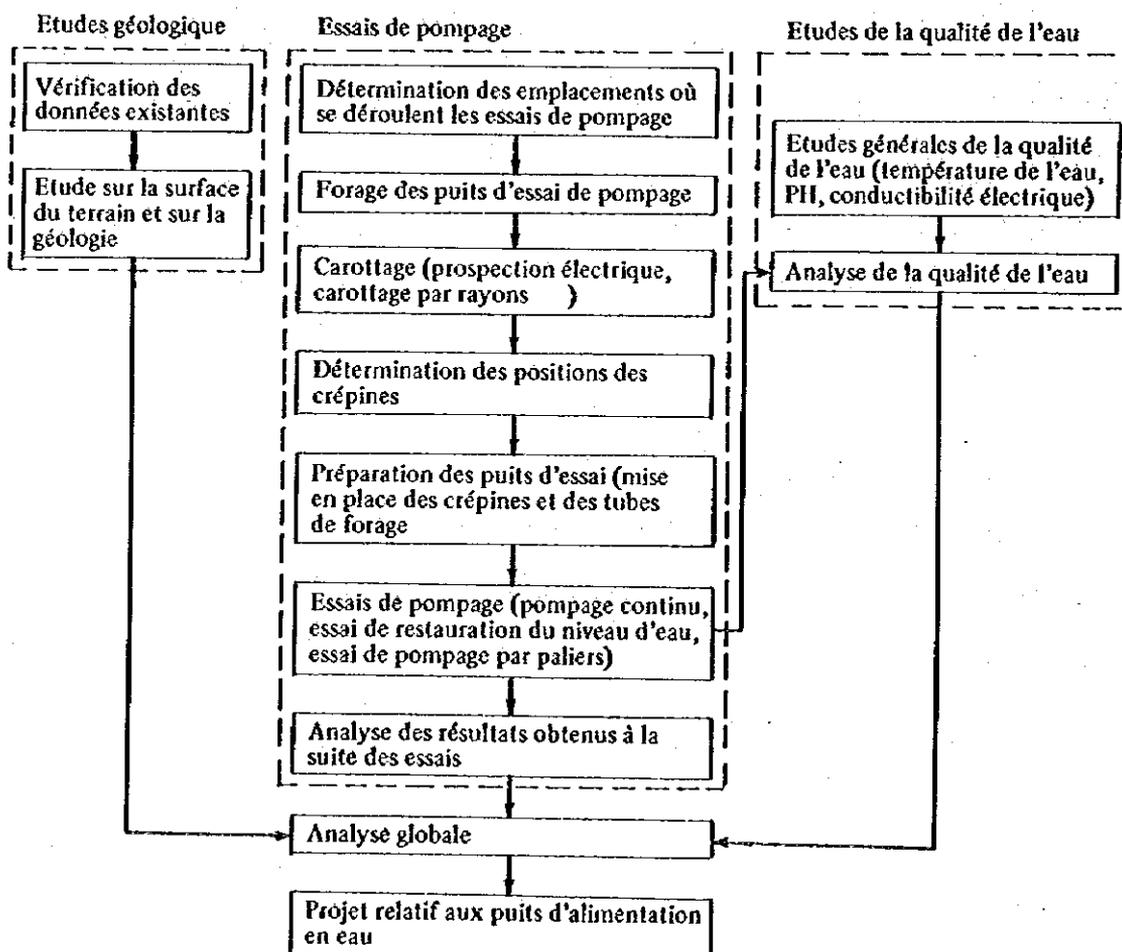
- Mise en oeuvre d'un puits de pompage et de deux puits d'observation dans chacune des trois zones (WP-1, WP-2, WP-3) présentant des structures géologiques différentes.

3) Etude de la qualité de l'eau

- Etude générale sur la qualité de l'eau
 - concernant l'eau prélevée dans les puits existants et la source
- Analyse de la qualité de l'eau
 - concernant l'eau prélevée dans les puits de pompage

L'ordre des phases caractérisant les diverses études figure au schéma 1.

Schéma 1 Organigramme des études



1-3 GRANDES LIGNES DES ETUDES PRECEDEMMENT EFFECTUEES ET DES PRESENTES ETUDES

1) Grandes lignes des études précédentes (pendant une durée de 41 jours du 11 février 1978 au 23 mars 1978)

Les études ci-dessous principalement constituées par les recherches sur la surface du terrain ont été effectuées, afin de mettre en évidence les structures hydrogéologiques de la vaste plaine d'Irhazèr où se trouvent les villes telles que: Agadès, In-Gall, Tegguidda in Tessoum.

- Recueil et vérification des données existantes
- Etude sommaire de la structure géologique
- Repérage des puits existants et de la source
- Prospection électrique (14 emplacements)
- Analyse de la qualité de l'eau (11 emplacements)

Il découle des résultats obtenus que l'état des réserves en eau souterraines peut être classé comme suit:

- Eau souterraine se trouvant dans la partie peu profonde, à savoir dans le lit des koris.
- Eau souterraine se trouvant dans la partie profonde, à savoir dans des nappes aquifères mésozoïque et paléozoïque.

L'eau souterraine profonde dans la zone de Tegguidda in Tessoum correspond à celle en réserve dans le groupe gréseux d'Agadès. Dans le sens horizontal, l'eau située au Sud-Est de la faille d'Azélik *(de direction Est-Nord-Est/Ouest-Sud-Ouest) appartient à l'eau douce de type à bicarbonate de soude, tandis que l'eau située au Nord-Ouest de ladite faille appartient à l'eau saline de type sans carbonate de soude.

* La couche gréseuse d'Agadès est désignée sous le nom de faille d'Azélik dans la zone de Tegguidda in Tessoum.

2) Proposition relative aux études ultérieures

En ce qui concerne le projet d'aménagement des installations de sources hydrologiques, comme il est nécessaire d'obtenir des données plus détaillées et plus concrètes fondées sur les études sommaires hydrogéologiques portant sur une vaste étendue, il est donc proposé d'effectuer les études ci-dessous en complément de celles précédemment effectuées.

- Détermination des caractéristiques de chaque nappe aquifère du point de vue géologique, à l'aide de forages structuraux (2 emplacements)
- Détermination des caractéristiques quantitatives (constantes hydrologiques de chaque nappe aquifère),

à l'aide des essais de pompage (3 emplacements)

3) Grandes lignes du contenu et des résultats des études actuelles

Pour ces études, on a sélectionné d'abord les trois emplacements représentatifs (WP-1, WP-2, WP-3) présentant des structures géologiques diverses dans une zone de 150km² environ comprenant les agglomérations telles que: Tegguidda in Tessoum, Géléli, Azélik. On a, ensuite, effectué en chacun des emplacements la mise en œuvre d'un (1) puits de pompage et de deux (2) puits d'observation, la prospection électrique, les essais de pompage et l'analyse de qualité de l'eau.

Bien que l'exécution des forages structuraux ait été proposée à la suite des études préliminaires, on a effectué des essais de pompage, afin de déterminer, grâce à l'exécution de forages et dans la mesure du possible, la structure géologique des terrains. Puisque, d'une part, la fourniture des excavateurs à grand diamètre destinés aux fouilles profondes, est impossible dans l'état actuel et que, d'autre part, la détermination quantitative de l'eau souterraine dans la région étudiée est de première urgence.

On peut conclure, à la suite des études actuelles, que les conditions sont les suivantes;

- La nappe aquifère peut être décomposée comme suit: une 1^{ère} nappe aquifère (couche mésozoïque) et une 2^{ème} nappe aquifère (couche paléozoïque). La qualité de l'eau de la première nappe correspond à celle d'une eau douce, tandis que la qualité de la deuxième correspond à celle d'une eau moyennement saline.

1^{ère} nappe aquifère couches supérieure et inférieure de Téloua (épaisseur de 30 à 50 m environ), eau douce de type à bicarbonate de soude

2^{ème} nappe aquifère couche inférieure d'Izégouandane (épaisseur de 70 à 90 m environ), eau moyennement saline de type sans bicarbonate de soude

- Les couches supérieure et inférieure de Téloua contenant la 1^{ère} nappe aquifère se trouvent au Sud-Est du dôme et y forment un bassin aquifère, tandis qu'elles n'existent pas au Nord-Ouest du dôme.
- La 2^{ème} nappe aquifère se trouve dans la couche inférieure d'Izégouandane.

Au centre du dôme, la couche inférieure d'Izégouandane contenant l'adite nappe affleure en surface, sa qualité a donc été soumise, au cours des années, à l'influence des eaux de surface et, de ce fait, l'eau est devenue douce.

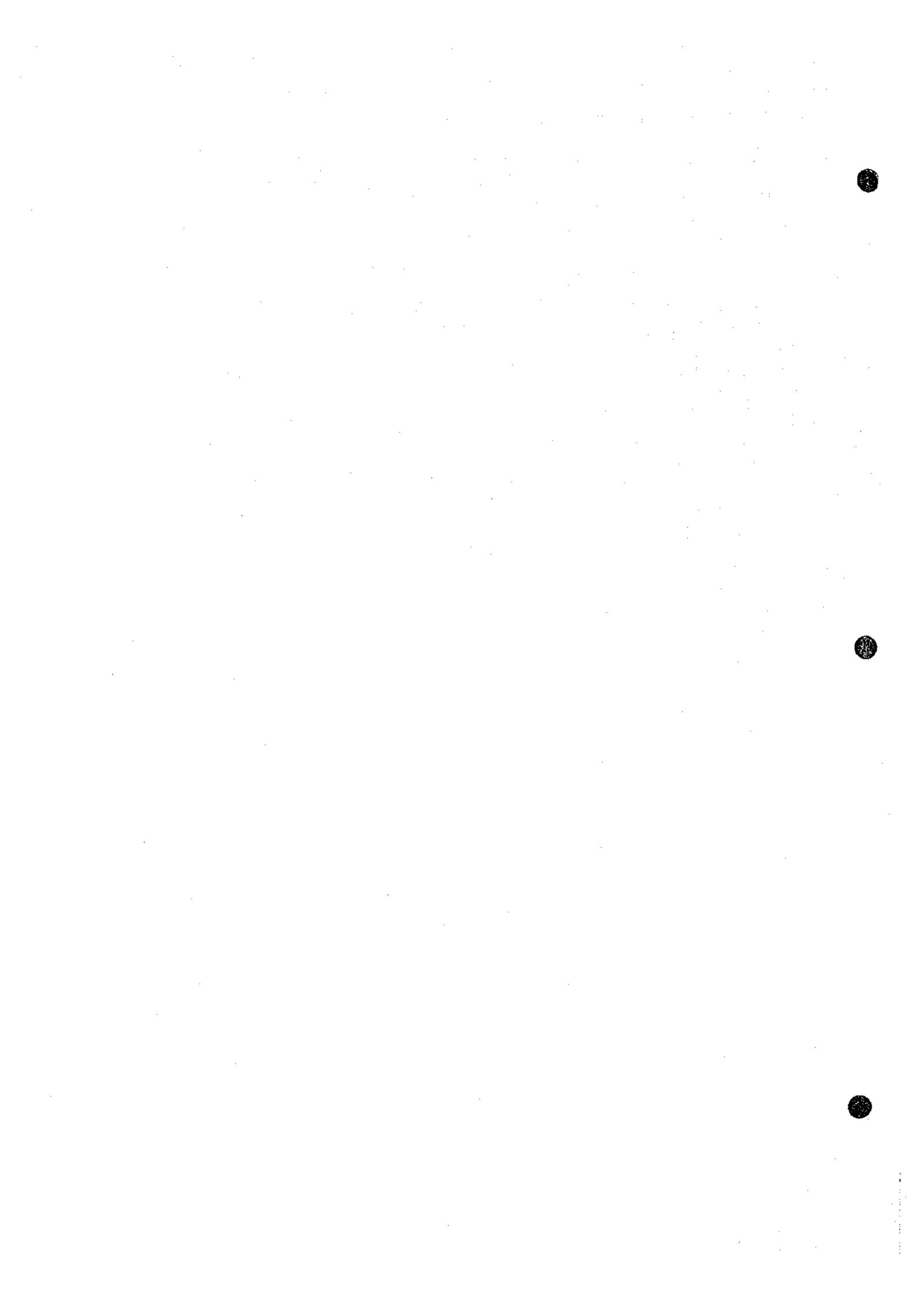
- La quantité de réserve d'eau du bassin contenant la 1^{ère} nappe aquifère au Sud-Est du dôme est estimée à 8 milliards de tonnes environ. A supposer que la quantité possible de prélèvement de l'eau soit d'environ 1% du total, 80 millions de tonnes environ d'eau pourront être exploitées.

Grâce aux études actuelles, on a déterminé la corrélation entre la structure géologique et les nappes aquifères, et pu obtenir les données fondamentales caractérisant le débit de pompage de l'eau souterraine et la qualité de l'eau, ce qui a permis de s'assurer les sources hydrologiques nécessaires à l'exploitation des mines d'uranium et d'élaborer le projet fondamental des installations de captage des eaux.

1-4 ORGANISATION DE LA MISSION D'ETUDES ET PROGRAMME DES ETUDES

La mission est composée de 7 membres. Le programme des études sur place de la mission est indiqué au tableau 1-1, et la répartition du travail est comme suit:

Chef de la mission	Supervision globale	Masami ONO	Yachiyo Engineering S. A.
Membres de la mission	Projet des installations de captage de ressources hydrologiques	Saburo ARAI	"
"	Analyse hydrologique	Hisashi OURA	"
"	"	Tetsufumi TSUJIMOTO	"
"	Essais de pompage	Syogo WAKAI	"
"	"	Tyujiro TAKAHASHI	"
"	"	Masaru SARUTA	"



CHAPITRE II HYDROGEOLOGIQUE DE LA ZONE ENTRE TEGGUIDA IN TESSOUM ET AZELIK

2-1 Contexte géologique sommaire

L'endroit prévu pour les études figure au schéma 2-1.

Les couches constituant le site étudié sont les suivantes:

	<u>époque</u>		<u>nom des couches</u>
Mésozoïque	crétacé	groupe de Tégouama	couche de grès de Tégouama
		groupe d'Irhazèr	couche d'argilite d'Irhazèr
	Jurassique	groupe d'Agadès	couche de grès d'Assaouas
			couche supérieure de Téloua
Trias		couche inférieure de Téloua	
Paléozoïque	Permien	série d'Izégouandane	couche supé. d'Izégouandane
		couche prépermienne	couche infé. d'Izégouandane

La série stratigraphique et les faciès de roche des couches constituant la zone étudiée sont indiqués sur le schéma 2-1.

Le schéma 2-2 représente la carte géologique de la zone de recherche établie par les données de reconnaissances géologiques et des sondages existants structuraux et hydrologiques, et par les résultats de l'observation des boues de forage et des carottages physiques des puits de pompage et des puits d'observation réalisés cette fois-ci.

Le contexte géologique de la zone étudiée est caractérisé par un dôme formé le long de la faille d'Azélik orientée de l'Est-Nord-Est à l'Ouest-Sud-Ouest. Entra Géléli et Azélik la série d'Izégouandane qui est recouverte par les couches du groupe d'Agadès et par la couche de grès d'Assaouas (conglomérat et grès constituant la base du groupe d'Irhazèr à l'exception du centre du dôme se trouve le long de la faille principale de 12 km de longueur et dans une zone orientée Nord/Sud de 3 km de longueur. Des couches sont divisées par la faille principale d'Azélik du côté Sud du dôme, et par la faille du côté Nord de même orientation que la précédente, ainsi que par de petites failles secondaires. Cependant, la partie élevée est située légèrement au Sud du centre du dôme.

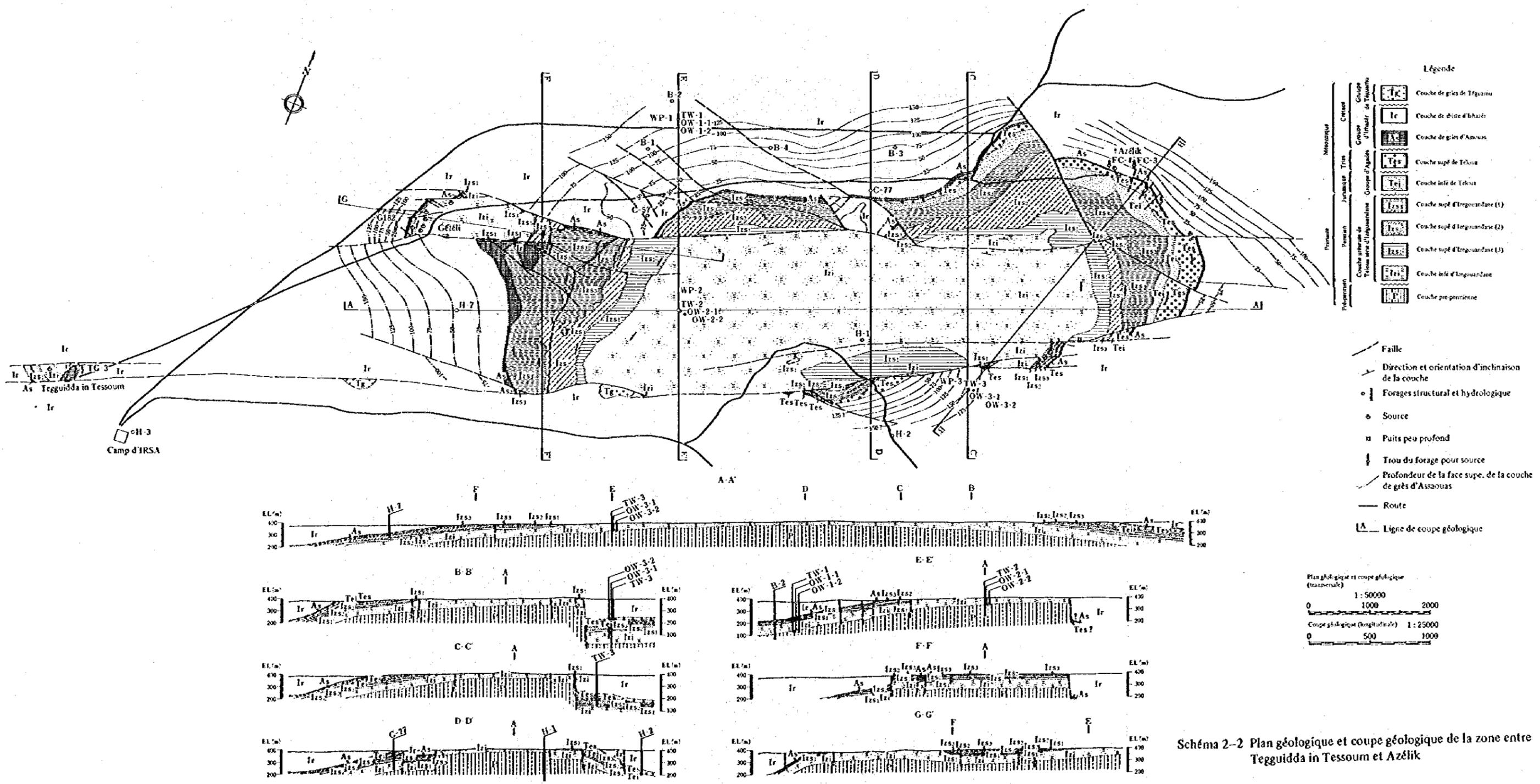


Schéma 2-2 Plan géologique et coupe géologique de la zone entre Tegguida in Tessoum et Azélik

D'une manière générale, la faille principale divise le contexte géologique comme suit: d'une part, une zone située du côté Nord où la série d'Izégouandane, le groupe d'Agadès et la couche de grès d'Assaouas s'inclinent doucement de 3 à 10° selon un plan anticlinal vers le Nord, l'Est et l'Ouest et s'enfoncent progressivement sous la couche d'argilite d'Irhazèr, et d'autre part, une zone du côté Sud de ladite faille, où les couches sous-jacentes situées au-dessous du niveau d'argilite d'Irhazèr se trouvent à une profondeur importante en raison du synclinal résultant de la présente faille. (Schéma 2-3)

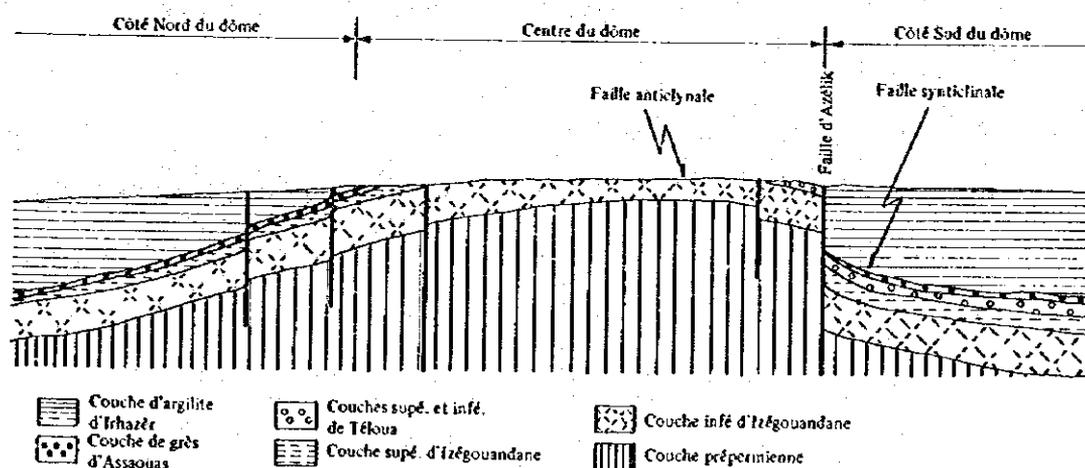


Schéma 2-3 Coupe géologique du dôme entre Géléli et Azélik

La structure en dôme existe aussi à Teggundda in Tessoum à une échelle plus réduite, puisque la série d'Izégouandane s'incline doucement vers le Nord, l'Est et l'Ouest en raison de la présence de la faille d'Azélik.

2-2 Série stratigraphique et faciès

La série stratigraphique et les faciès figurent sommairement ci-dessous.

1) Le groupe de grès du Téguama: 5 à 10 m d'épaisseur

Cette couche se trouve au Sud de la faille principale d'Azélik, à une échelle réduite, et s'appuie sur la couche sous-jacente d'argilite d'Irhazèr de façon discordant. Elle est principalement composée de grès à grain moyen isogranulaire et quartzitique (gris jaunâtre~brun jaunâtre), et forme un feuillet oblique.

Les couches minces de marne blanc~gris sont intercalées et accompagnent des bois silicifiés.

2) Couche d'argilite d'Irhazèr: 200 à 300 m d'épaisseur

Cette couche s'étend largement aux environs de la région de recherche. Elle est principalement composée de silt brun~brun rougeâtre et comprend des niveaux minces argileux gris violacés et de marne gris vert clair. La couche de marne, d'une épaisseur importante, est située à la partie supérieure.

La plupart des silts sont en forme de massifs; cependant, un feuillet oblique contenant des sables à grain fin est situé à proximité de la base de cette couche.

3) Couche de grès d'Assaouas: 5 m ± d'épaisseur.

Cette couche constitue la base du groupe d'Irhazèr et s'appuie sur les couches sous-jacentes de façon discordant. Elle contient de l'uranium et du cuivre. Ladite couche comprend, de haut en bas, des grès grossiers quartzitiques gris jaunâtre, des grès moyens marneux gris verts clair et des conglomérats. La partie supérieure composée de grès a été durcie sous l'effet du calcite. Ladite couche présente une épaisseur importante à l'Ouest du dôme.

4) La couche supé de Téloua: 30 à 35 m d'épaisseur

Cette couche s'appuie sur la couche inférieure de Téloua, de façon discordant, et est située sur le versant Est du dôme près d'Azélik et sur le versant Sud-Est de ce même dôme; cependant, elle n'existe pas sur le versant Ouest du dôme. Ces faciès de roche se présentent, de haut en bas, comme suit:

- Silt sableux brun rougeâtre contenant de l'analcite.
- Conglomérat ainsi que grès grossier, y compris conglomérats.
- grès moyen et conglomérats fins contenant du silt brun rougeâtre.
- grès moyen quartzitique isogranulaire gris jaunâtre.

Les grès des parties moyenne et inférieure de ladite couche sont composés de grains quartzitiques arrondis présentant une grande pureté, alors que ceux de la partie supérieure sont composés de grains feldspathiques carrés.

5) Couche inférieure de Téloua: 15 à 20 m d'épaisseur

Cette couche s'appuie sur le groupe d'Izégouandane de façon discordant et s'étend à l'Est du Dôme. En outre, on la détecte aussi un peu plus à l'Ouest par rapport à la couche supé. de Téloua; cependant, elle va s'amincissant vers l'Ouest et disparaît à l'Ouest de la bordure Ouest du dôme où se trouve Géléli. Ladite partie est principalement composée de grès moyen brun jaunâtre. Les grains sont relativement isogranulaires, légèrement carrés, et généralement composés de quartz et de feldspath, et partiellement de grains fins arrondis de silice et de grès moyen feldspathique.

6) Couches supérieure d'Izégouandane: 50 m ± d'épaisseur

Celle-ci s'appuie sur la couche inférieure d'Izégouandane sauf au centre du dôme. Ladite couche est composée d'une alternance de silt brun rougeâtre, de grès à grains fins à moyens gris rosâtre~blanc grisâtre et de brèche. Un feuillet oblique se trouve dans les couches de grès.

La présente couche est divisée en 3 parties par des brèches présentant une relative continuité et constituant la limite du cycle de sédimentation.

(1) Partie supérieure de la couche d'Izégouandane (3)

15 m ± d'épaisseur

Cette partie comprend en général, de haut en bas, du silt brun rougeâtre, du grès fin brun rougeâtre et gris rosâtre et la brèche.

(2) Partie supérieure de la couche d'Izégouandane (2)

20 m ± d'épaisseur

Cette partie comprend deux ou trois cycles de sédimentation formé de silts bruns rougeâtres, de grès moyens feldspathiques blancs gris rosâtres et de brèches.

(3) Couche supérieure d'Izégouandane (1)

10 à 15 m d'épaisseur

Cette partie comprend, de haut en bas, des silts bruns rougeâtres, des grès fins feldspathiques blancs grisâtres et les brèches argileuses. Ces couches de silt sont, en général, importantes.

7) Couche inférieure d'Izégouandane: 70 à 90 m d'épaisseur

Cette partie s'étend au centre du dôme. Par ailleurs, elle est également située au centre du petit dôme de Tegguidda in Tessoum à une échelle réduite. Les silts rouges, se présentant de manière continue, (2 à 6 m d'épaisseur) se trouvent au milieu de ladite partie et constituent la ligne de partage. Cette couche comprend de haut en bas:

○ Partie supérieure; 35 à 45 m d'épaisseur

- silt brun rougeâtre (contenant des parcelles de mica)
- grès à grains fins à moyens feldspathiques gris rosâtre~blanc grisâtre.
- grès moyen à grossier d'arkose gris rosâtre clair~gris jaunâtre.

○ Partie inférieure; 40 à 45 d'épaisseur

- silt brun rougeâtre~brun foncé.
- grès grossier d'arkose gris rosâtre clair~gris jaunâtre
- grès moyen d'arkose gris rosâtre clair~gris jaunâtre (grès conglomératique à la partie inférieure).

Dans l'ensemble, les couches de moyen à grossier d'arkose présentent une épaisseur importante. Les grès grossiers sont principalement composés de grains fins sous forme de conglomérats silicifiés et, occasionnellement, de grains conglomératiques. La formation des faciès de roches présente une relative

continuité et une épaisseur de couche relativement uniforme.

8) Couche prépermienne

Cette couche est mise en évidence par les sondages structuraux qui ont été effectués, les puits de pompage et les puits d'observation exécutés récemment (TW-1, OW-3.1), mais elle n'a pas été détectée ni dans les affleurements ni par les carottes de sondage. L'établissement précis de la série stratigraphique et les faciès de roche fera l'objet d'une étude ultérieure. Ces faciès obtenus grâce aux résultats de l'observation des boues de forage et des résultats des carottages physiques sont caractérisés, d'une part, par une alternance de silts et de grès (les silts dominant dans la partie supérieure, les grès dans la partie moyenne) et, d'autre part, par l'existence d'une couche de grès à la partie inférieure.

2-3 Nappes aquifères

On peut citer, comme nappe aquifère principale de la région étudiée, les couches supérieure et inférieure de Téloua et la couche inférieure d'Izégouandane. Les premières sont appelées 1^{ère} nappe aquifère, et la dernière est nommée 2^{ème} nappe aquifère. On décrit ci-après la localisation et la nature de ces nappes aquifères, mais on ne donne qu'un aperçu de la nature du groupe d'Irhazèr, de celle de la couche supérieure d'Izégouandane, et de celle de la couche prépermienne, considérées comme nappes souterraines peu perméables.

Etant donné que la couche gréseuse de Tégauma ne se trouve que dans une zone étroite de la région étudiée, ce qui constitue un obstacle à la rentabilité de l'exploitation, la description relative à la nature de la couche gréseuse de Tégauma a été supprimée.

2-3-1 1^{ère} nappe aquifère

La couche de Téloua constitue la base du groupe d'Agadès qui est considérée comme une nappe aquifère principale dans la bordure Sud-Ouest du massif de l'Air et dans la plaine d'Irhazèr. Dans la zone étudiée, cette couche a une épaisseur importante à l'Est du dôme où sont situés Azélik, et l'emplacement WP-3. L'épaisseur totale de la couche de Téloua est de 30 à 50 m. Elle est principalement composée de grès quartziques à grain moyen, et considérée comme une nappe aquifère aux conditions favorables surtout dans les niveaux à grain isogranulaire constituant les parties moyenne et inférieure de la couche supérieure de Téloua.

La couche de Téloua n'est pas mise en évidence à l'Ouest du dôme où se trouvent Géléli et Teggindda in Tessoum. Bien que la localisation de ladite couche soit inconnue à l'Ouest de la zone WP-3 au côté Sud du dôme, on admet, d'une part, qu'elle n'existe pas dans la région à l'Ouest du centre du dôme, et d'autre part, qu'au cas où elle existerait, son épaisseur est considérablement réduite, du fait que cette couche n'a pas été détectée par les sondages structuraux H-3 précédemment effectués.

Généralement, à l'Est du dôme, l'épaisseur de cette nappe augmente progressivement au fur et à mesure que l'on s'approche du massif de l'air. Selon les estimations, la couche de grès de Tchirézrine se trouvant dans la partie supérieure du groupe d'Agadès recouvre ladite couche.

On considère que la source d'Azélik et la source détectée dans un puits profond de Téyndi proviennent de la 1^{ère} nappe aquifère et qu'elles jouent un rôle important comme sources d'eau souterraines dans la région étudiée. Cette eau souterraine est, en général, douce et alcaline.

2-3-2 2^{ème} nappe aquifère

La couche inférieure de la série d'Izégouandane de grès d'arkose à grain moyen à grossier correspond à cette nappe. L'épaisseur de ladite couche étant de 70 à 90 m, cette nappe est relativement stable. On peut obtenir de l'eau à partir de cette nappe à n'importe quel endroit de la région étudiée, si l'on ne tient pas compte de sa profondeur. L'eau potable pour les habitants de Tégguidda in Tessoum est puisée dans ladite nappe. Par ailleurs, la source se trouve dans les forages de prospection à Tégguidda in Tessoum et à Géli et dans les puits d'essai de pompage de l'emplacement WP-1. La qualité de l'eau correspond aux caractéristiques d'une eau moyennement saline.

La couche étudiée affleure en surface au centre du dôme sur une superficie de 2.5 km x 6.5 km et forme dans la zone WP-2 une nappe libre affleurant à 20 cm environ au-dessous du sol. En ce qui concerne la qualité d'eau, cette zone constitue un milieu spécial à cause de l'influence de l'infiltration des eaux de surface au cours des années.

2-3-3 Nappe aquifère peu perméable

Le groupe d'Irhazèr, surtout la couche d'argilite d'Irhazèr se répartit autour du dôme, dans une vaste zone entre la zone de recherche et la plaine d'Irhazèr. Ce groupe correspond à une nappe aquifère peu perméable composée principalement de silt, et joue un rôle important et constitue une charge sur la nappe aquifère sous-jacente du groupe d'Irhazèr. Par ailleurs, la couche de grès d'Assaouas qui forme la base (grès, conglomérat) de la série d'Irhazèr dans la région étudiée ne constitue pas une nappe aquifère favorable, puisqu'elle est souvent durcie sous l'effet de calcite et qu'elle contient beaucoup de grains fins en ce qui concerne les faciès.

La couche supérieure d'Izégouandane est principalement composée de grès feldspathiques à grain fin et de silt, et les couches gréseuses sont souvent durcies sous l'effet de la calcite, de ce fait, ladite partie de la couche d'Izégouandane ne constitue pas une nappe aquifère favorable. Cependant, elle permet d'éviter le mélange des deux types de nappes aquifères.

2-3-4 Couche prépermienne

Cette couche se trouvant actuellement dans la partie profonde de la région de recherche n'a pas été suffisamment étudiée. Quoiqu'il en soit, le faciès de ladite couche présente une couche d'alternance de grès et de silt, et il est vraisemblable que les niveaux gréseux ayant une épaisseur importante contiennent une nappe aquifère. Cependant, du fait que les caractéristiques de l'eau prélevée par le pompage à l'aide d'un élévateur pneumatique aux environs du fond du puits de pompage, (150 m de profondeur) TW-2, et celles de l'eau se trouvant dans un trou du sondage structural existant H-1 sont très voisines de celles de l'eau de mer, on peut admettre la présence d'une eau fortement saline dans certains endroits de cette couche.

2-4 Niveau de nappe aquifère

Les niveaux de l'eau souterraine déterminés par les puits d'essai de pompage et les puits existants, et ceux de l'eau dans les trous de forage sont indiqués au tableau 2-1.

Tableau 2-1 Niveaux de l'eau souterraine

Lieu Nom du puits Rubrique	Côté Nord du dôme	Centre du dôme		Côté Sud du dôme		
	TW-1	TW-2	H-1	TW-3	OW-3.1	Téyndi FAG0118
Altitude	378	399	409	398	398	382
Niveau de nappe aquifère	6 au-dessus du sol TIV x 6	21 au- dessous du sol	2 au- dessous du sol	11 au- dessous du sol	6 au- dessous du sol	8 au- dessous du sol
Altitude de nappe aquifère	384	378	407	387	392	390
Remarques	2 ^{ème} nappe aquifère	Partie libre de la 2 ^{ème} nappe aquifère	Eau dans trous de forage couche préper- mienne	1 ^{ère} nappe aquifère	2 ^{ème} nappe aquifère	1 ^{ère} nappe aquifère

- L'altitude de la 1^{ère} nappe aquifère est de 387 à 390 m. La hauteur de chute est relativement élevée à l'Est du dôme.
- Au côté Nord du dôme de la 2^{ème} nappe aquifère se trouve légèrement au-dessous de la 1^{ère} nappe aquifère, tandis qu'au côté Sud, la 2^{ème} nappe aquifère se situe un peu plus haut que la 1^{ère}. Le fond du trou de OW-3.1 se trouve dans la couche prépermienne, il est donc possible que la hauteur réelle de chute de l'eau souterraine soit moins profonde que celle indiquent les mesures effectuées.
- Le niveau de l'eau se trouvant dans le centre du dôme est particulièrement bas par rapport à celui de la zone

périphérique.

— Au contraire, le niveau de l'eau en H-1 est particulièrement élevé. Un tuyen de forage ayant pénétré jusqu'à 30 m de profondeur en atteignant la surface de l'eau, il est donc possible que la couche prépermienne située à 10 m au-dessous du sol contient une eau souterraine non libre, caractérisée par une hauteur de chute élevée.

2-5 Types d'eau

On admet qu'il y a deux types d'eau pour la source et l'eau de puits de la région étudiée: l'eau douce et l'eau saline

Il est, par conséquent, nécessaire de connaître la répartition de ces types d'eaux, en particulier, répartition horizontale et verticale au sein de la structure géologique, afin de procéder à l'exploitation de l'eau souterraine. Dans ce but, on a obtenu des échantillons d'eau prélevés à 9 endroits, et procédé à des analyses visant à déterminer les divers types d'eaux. Ces résultats figurent au tableau 2-2. En ce qui concerne les échantillons d'eau prélevés sur les lieux d'essais de pompage, on a procédé à une analyse plus approfondie pour que les éléments faisant l'objet de l'analyse puissent être comparés avec les Normes de qualité d'eau stipulées dans la réglementation japonaise relative à l'eau potable. Les résultats de cette analyse figurent au chapitre qui suit. Le schéma 2-4 indique les résultats d'analyse de chaque point de prélèvement d'eau: ils sont donnés sur le diagramme de salinité, ce qui permet la classification en plusieurs zones correspondant aux divers types d'eau.

Tableau 2-2 Classification de l'eau souterraine d'après la qualité de l'eau

Type	Qualité de l'eau	Description de l'eau souterraine
1	Carbonate de calcium	Groupe représentatif de l'eau douce
2	Carbonate de sodium	C'est de l'eau adoucie en raison de l'évolution chimique de l'eau souterraine en type 1; l'eau stagnante appartient généralement à cette catégorie.
3	Sans carbonate de calcium	Terrain soumis aux glissements, eau acide en provenance des mines, eau thermale.
4	Sans carbonate de sodium	C'est de l'eau de mer ou de l'eau souterraine contenant de l'eau de mer.

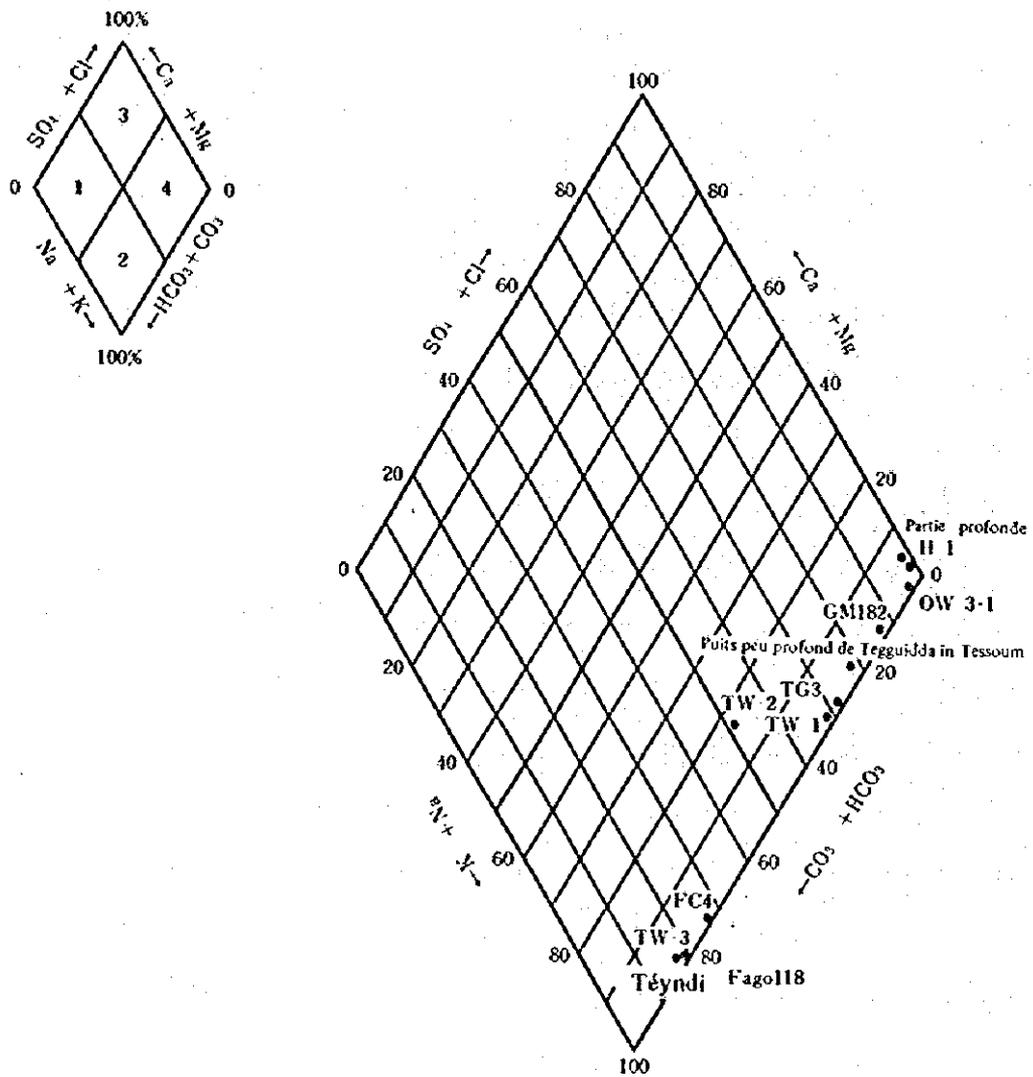


Schéma 2-4 diagramme des types de qualité d'eau souterraine de la région de recherches.

- L'eau souterraine de la région de recherches peut être approximativement classée en 4 zones, selon les résultats d'analyse précédents. Les 4 zones correspondent respectivement à leur structure géologique.
- i) eau souterraine de la 1^{ère} nappe aquifère.
 - ii) eau souterraine de la 2^{ème} nappe aquifère.
 - iii) eau souterraine libre du centre du dôme de la 2^{ème} nappe aquifère.
 - iv) eau souterraine de la couche prépermienne.

2-5-1 Eau souterraine de la 1^{ère} nappe aquifère

L'eau souterraine de la 1^{ère} nappe aquifère correspond à la source d'Azélik, à l'eau du puits profond de Tényndi, et à l'eau du puits de pompage TW-3. Cette eau appartient au type No. 2 (carbonate de sodium) et elle est considérée comme eau souterraine (stagnante) en charge.

L'eau présente une température de 34°C, un PH de 8,8 à 9,2 une conductibilité de 1 000 à 1 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle correspond à la catégorie de l'eau douce selon les limites de la conductibilité électrique, son Ph a une valeur élevée et elle contient un grand nombre d'ions de bicarbonate de soude.

2-5-2 Eau souterraine en charge de la 2^{ème} nappe aquifère

Cette eau correspond à l'eau du puits peu profond de Tegguidda in Tessoum, à la source de Géléli et à l'eau du puits de pompage TW-1. La 3^{ème} zone correspondant au centre du dôme contient aussi la 2^{ème} nappe aquifère, mais la qualité d'eau de cette zone est différente de celle de la zone iii), comme mentionné ci-après. L'eau de la zone ii) est considérée comme une eau souterraine stagnante en charge. Ladite eau appartient au type N°. 4 (sans carbonate de sodium), et est mélangée avec de l'eau salée. Ses caractéristiques la classent entre l'eau douce (type N°. 1) et l'eau fossile fortement saline.

Sa température est de 30° à 38°C, son PH de 8,2 à 8,5, sa conductibilité de 5 000 à 6 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette eau entre dans le catégorie de l'eau moyennement saline et son coefficient de densité conique est élevé en ce qui concerne le chlore (1 000 à 2 000 mg/l) et le bicarbonate de sodium (500 à 1 000 mg/l).

Par ailleurs, l'eau en provenance du puits OW-3.1 est aussi l'eau prélevée dans la 2^{ème} nappe aquifère, mais sa conductibilité électrique est relativement élevée (13 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), de ce fait, ces résultats permettent de la classer entre le type N°. iv (eau souterraine de la couche prépermienne) et le N°. ii.

2-5-3 Eau souterraine libre du centre du dôme de la 2^{ème} nappe aquifère

Cette eau correspond à l'eau souterraine du puits de pompage TW-2. Cette eau appartient au type sans carbonate de sodium, toutefois, elle présente des caractéristique très proches de celles du type contenant du carbonate de sodium.

Sa température est de 33°, son PH de 7,7, sa conductibilité électrique de 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle entre donc dans la catégorie de l'eau douce. Les coefficients de densité ionique concernant le bicarbonate de sodium (323 mg/l), l'acide sulfurique (11,6 mg/l) et le sodium (185 mg/l) sont faibles, tandis que son coefficient de densité ionique en calcium (23,2 mg/l), et sa dureté hydrotimétrique sont élevés. En outre sa densité ionique en chlore est légèrement plus élevée que celle de l'eau de type i).

Au centre du dôme, la partie inférieure de la couche d'Izégouandane affleure en surface dans une zone

relativement étendue, elle se trouve donc à l'état libre. Il en résulte que le centre du dôme est susceptible d'être soumis à des infiltrations des eaux de surface. On suppose donc que la nature de cette eau a été, au cours des années, différente de celle de l'eau en charge de la partie profonde de la 2^{ème} nappe aquifère.

2-5-4 Eau souterraine libre de la 2^{ème} nappe aquifère au centre du dôme

Cette eau correspond, d'une part, à l'eau prélevée à l'aide d'un élévateur pneumatique aux environs d'un trou de 150 m de profondeur du puits de pompage TW-2 et, d'autre part, à l'eau d'un trou de sondage structural existant H-1. Ces eaux fossiles et fortement salées sont se trouvent à certains niveaux de la couche pré-permienne.

La température de l'eau est de 2,8°C, son PH 8,8, et sa conductibilité électrique de 23,000 à 26,000 $\mu\text{v}/\text{cm}^2$.

2-5-5 Etat de répartition des différentes qualité d'eau

L'état de répartition des différentes qualités d'eau dans la région de recherches figure au schéma 2-5.

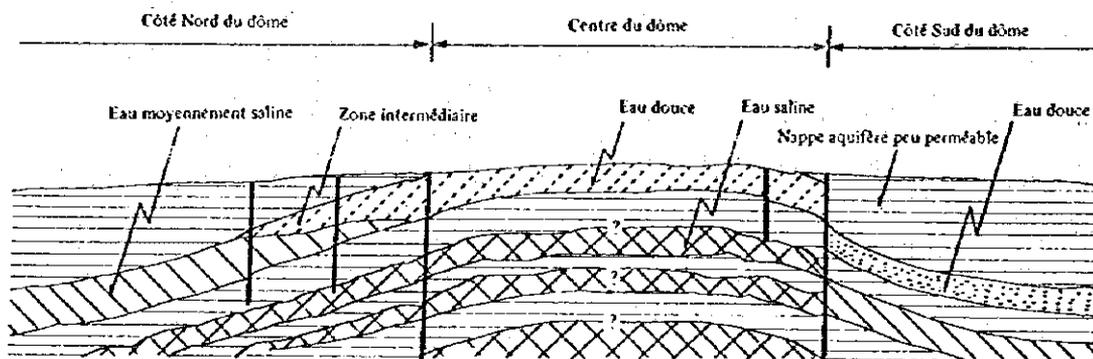


Schéma 2-5 Coupe géologique représentant la qualité de l'eau du dôme

La conductibilité électrique de l'eau dans les trous de forage de prospection de la région étudiée présente les caractéristiques suivantes (schéma 2-6).

- Le coefficient de conductibilité électrique diminue au fur et à mesure que la couche sous-jacente, généralement située au-dessous de la couche d'Assaouas, affleure exceptionnellement en surface, dans la partie centrale du dôme. Réciproquement, ce coefficient augmente de part et d'autre de la partie centrale du dôme.
 - La conductibilité électrique est de 1 000 à 2 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à proximité d'Azélik et au puits WP-3, alors qu'elle est de 2 000 à 6 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'Ouest du dôme.
 - La conductibilité électrique est légèrement plus élevée le long de la faille qu'aux alentours de celle-ci.
- En outre, aux environs du côté Nord de la faille se trouvent des emplacements où l'eau a une conductibilité électrique de 45 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui témoigne d'une qualité d'eau similaire à celle de l'eau fortement saline.

Il est difficile de tirer une conclusion définitive à partir des conditions décrites ci-dessous, à cause de l'insuffisance d'informations sur la profondeur des puits et des couches où les prélèvements d'eau sont effectués.

On peut, néanmoins, admettre que les variations de conductibilité électrique ont 2 causes: d'une part, l'infiltration des eaux de surface du dôme, infiltration qui a une incidence sur la qualité de l'eau; et, d'autre part, la montée de l'eau souterraine très saline le long de la faille, en provenance de la partie profonde.

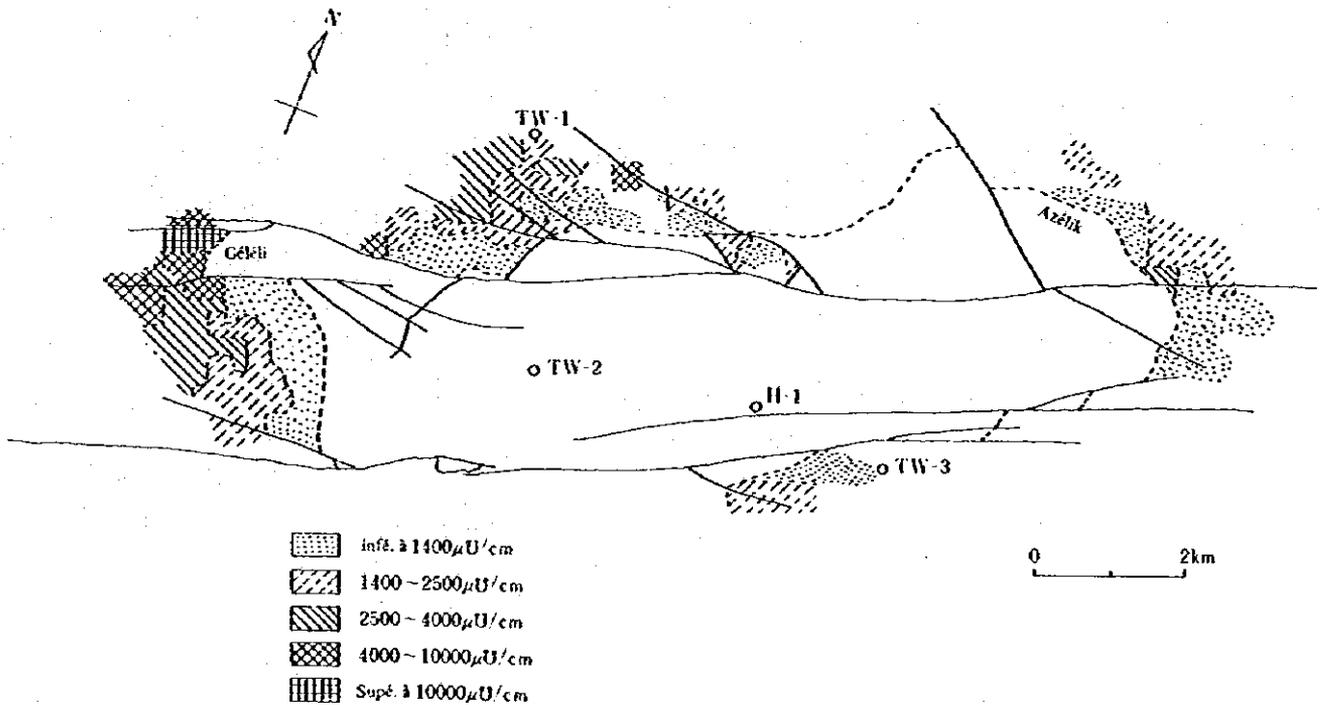
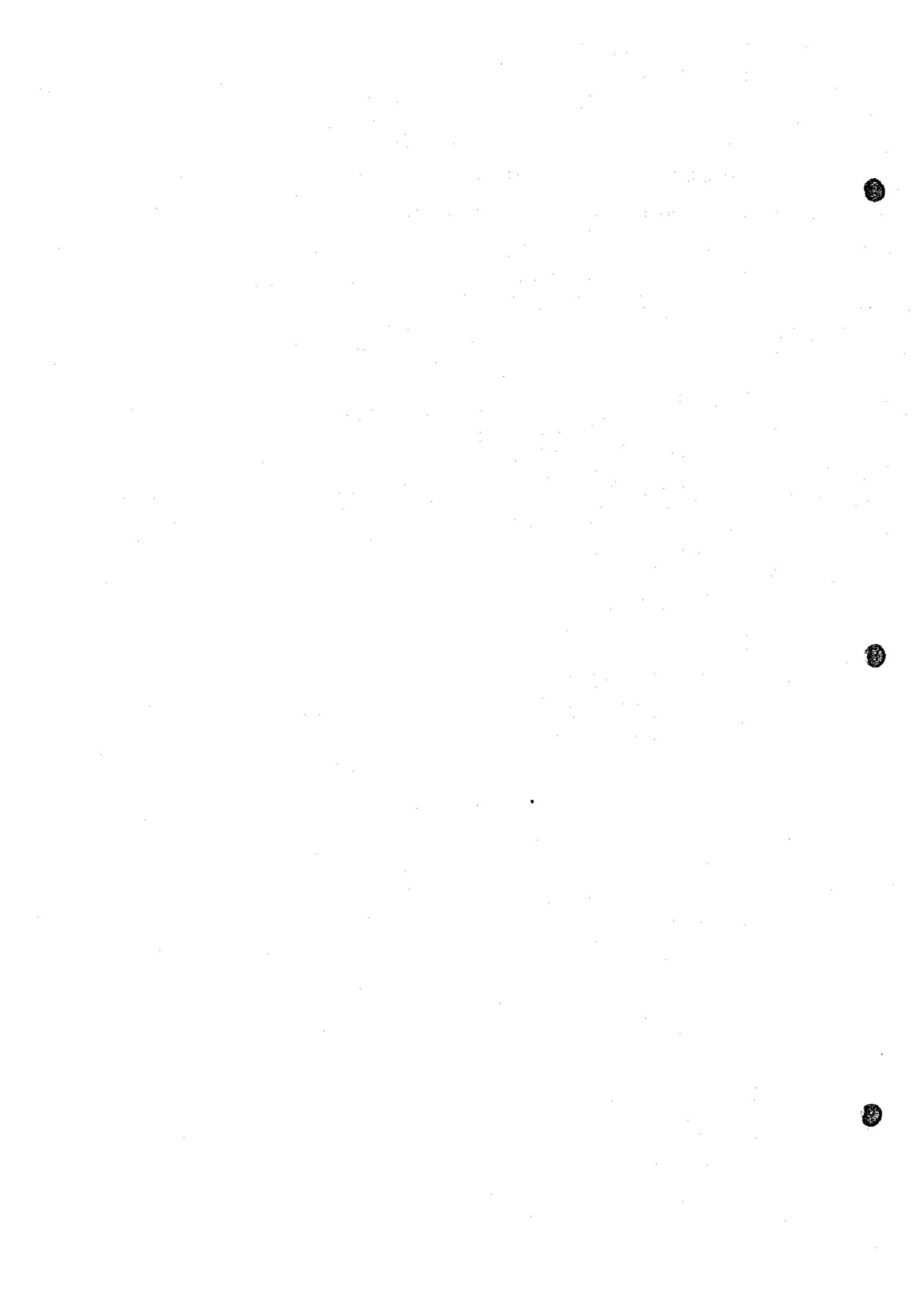


Schéma 2-6 Coefficients de conductibilité électrique de l'eau dans les trous de forage de prospection



CHAPITRE III ESSAIS DE POMPAGE

Les essais de pompage sont exécutés grâce à la réalisation des installations suivantes: un (1) puits de pompage et deux (2) puits d'observation dans chacune des trois zones, permettant de confirmer la quantité et la qualité d'eau souterraine située dans les nappes aquifères de la région de reconnaissance et d'obtenir leur constante hydrologique.

3-1 LOCALISATION DES LIEUX OÙ ONT ÉTÉ EFFECTUÉS LES ESSAIS DE POMPAGE

La région de reconnaissance se décompose, selon la structure géologique, en trois zones: zone au Nord du dôme, zone centrale du dôme et zone au Sud du dôme. Ces lieux où ont été effectués les essais de pompage sont respectivement désignés comme suit: WP-1, WP-2, WP-3. Ces lieux ont été déterminés, en tenant compte des données des sondages précédemment exécutés, de façon que les essais soient exécutés à une profondeur donnée. En outre, un (1) puits de pompage et deux (2) puits d'observation ont été réalisés à chaque emplacement. Il en résulte que le puits WP-1 correspond à la 2^{ème} nappe aquifère, le puits WP-2 à la partie non soumise à la charge de la 2^{ème} nappe aquifère, le puits WP-3 correspond à la 1^{ère} nappe aquifère et en même temps à la 2^{ème} nappe aquifère (résultat donné par le puits d'observation supplémentaire OW-3.1).

Les emplacements où ont été effectués les essais de pompage sont indiqués au schéma 2-2.

3-2 STRUCTURE ET LOCALISATION DES PUIITS D'ESSAI

La description du puits de pompage et du puits d'observation est donnée au tableau 3-1, et leurs structures sont indiquées au schéma 3-1.

En ce qui concerne le puits de pompage TW-2 après avoir procédé aux excavations jusqu' à la profondeur donnée de 150 m, on a obtenu l'eau à proximité du fond de ce trou à l'aide d'un élévateur pneumatique. Il en résulte que l'on admet que l'eau prélevée est douce. La partie à une profondeur de plus de 78 m a donc été enfermée grâce à une injection de ciment et les essais ont été effectués en ce qui concerne seulement la 2^{ème} nappe aquifère, sur la base d'une profondeur du puits d'observation de 65 m.

Par ailleurs, en ce qui concerne le puits d'essai WP-3, après avoir procédé aux excavations jusqu' à 250 m de profondeur, on a effectué des essais de pompage concernant la 1^{ère} nappe aquifère. On a procédé, ensuite, à de nouvelles excavations en ce qui concerne le puits d'observation OW-3.1 jusqu' à une profondeur de 400 m, en vue d'une étude sur la situation géologique des couches sous-jacentes, et de la réalisation d'un puits d'essai de pompage dans la 2^{ème} nappe aquifère. Dans un premier temps, on avait projeté d'effectuer la nouvelle excavation en cours

Tableau 3-1 Description concernant les structures des puits de pompage et des puits d'observation

Lieux et désignation des puits	WP-1			WP-2			WP-3				
	TW-1	OW-1.1	OW-1.2	TW-2	OW-2.1	OW-2.2	TW-3	OW-3.1	OW-3.2	OW-3.1*	
Altitudes des bouches	377,5m	377,7m	378,0m	399,5m	398,6m	399,6m	398,5m	398,1m	397,9m	398,1m	
Profondeurs des excavations	250m	250m	250m	150m	65m	65m	250m	250m	250m	250m à 400m	
Diamètres des trous d'excavation	0~10m; 12.1/4" 10~100m; 8.5/8" 100~250m; 5.5/8"	0~10m; 8.5/8" 10~250m; 5.5/8"	0~10m; 8.5/8" 10~250m; 5.5/8"	0~10m; 12.1/4" 10~100m; 8.5/8" 100~150m; 5.5/8"	0~10m; 8.5/8" 10~65m; 5.5/8"	0~10m; 8.5/8" 10~65m; 5.5/8"	0~10m; 12.1/4" 10~100m; 8.5/8" 100~250m; 5.5/8"	0~10m; 8.5/8" 10~250m; 5.5/8"	0~10m; 8.5/8" 10~250m; 5.5/8"	0~10m; 8.5/8" 10~250m; 5.5/8"	250~400m; 3.5/8"
Diamètres des tubes de forage	0~10m; 10" 0~100m; 6" 100~250m; 4"	0~10m; 6" 0~250m; 4"	0~10m; 6" 0~250m; 4"	0~10m; 10" 0~78m; 4"	0~10m; 6" 0~65m; 4"	0~10m; 6" 0~65m; 4"	0~10m; 10" 0~100m; 6" 100~250m; 4"	0~10m; 6" 0~250m; 4"	0~10m; 6" 0~250m; 4"	0~10m; 6" 0~250m; 4"	250~400m; 73mm
Diamètres des crépines	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	73mm
Spécification	Tamis NST	Fente	Fente	Tamis NST	Fente	Fente	Tamis NST	Fente	Fente	Fente	Trou rond
Positions des crépines	177,5~194m 205~227m 232,5~244,5m	173~178,5m 184~195m 200,5~220,5m 228~239m	173~178,5m 184~195m 200,5~222m	17~44,5m 50~61m	15,5~59,5m	15,5~59,5m	156,5~200,5m 206~211,5m	156,5~200,5m 206~211,5m	173~200,5m 206~211,5m 217~233,5m	268,05~298,05m 307,05~316,05m 322,05~337,05m	
Pourcentage d'ouverture	13~15%	5%	5%	13~15%	5%	5%	13~15%	5%	5%	5%	3%
Cimentation	-	-	-	78~150	-	-	-	-	-	-	-
Couches faisant l'objet des essais	Couche inférieure d'Izégouandane			Couche inférieure d'Izégouandane			Couches supé et infé. de Téloua			Couche inférieure d'Izégouandane	
Remarques	2 ^{ème} nappe aquifère			2 ^{ème} nappe aquifère			1 ^{ère} nappe aquifère			2 ^{ème} nappe aquifère	
	TW-2: Exécution de la cimentation, en raison de l'existence de l'eau ayant la haute concentration des ions cl ⁻ dans la partie inférieure de la 2 ^{ème} nappe aquifère.										
	OW-3.1*: Excavation après la fin de l'essai de pompage jusqu'à la profondeur de 250m. Excécution des essais de pompage.										

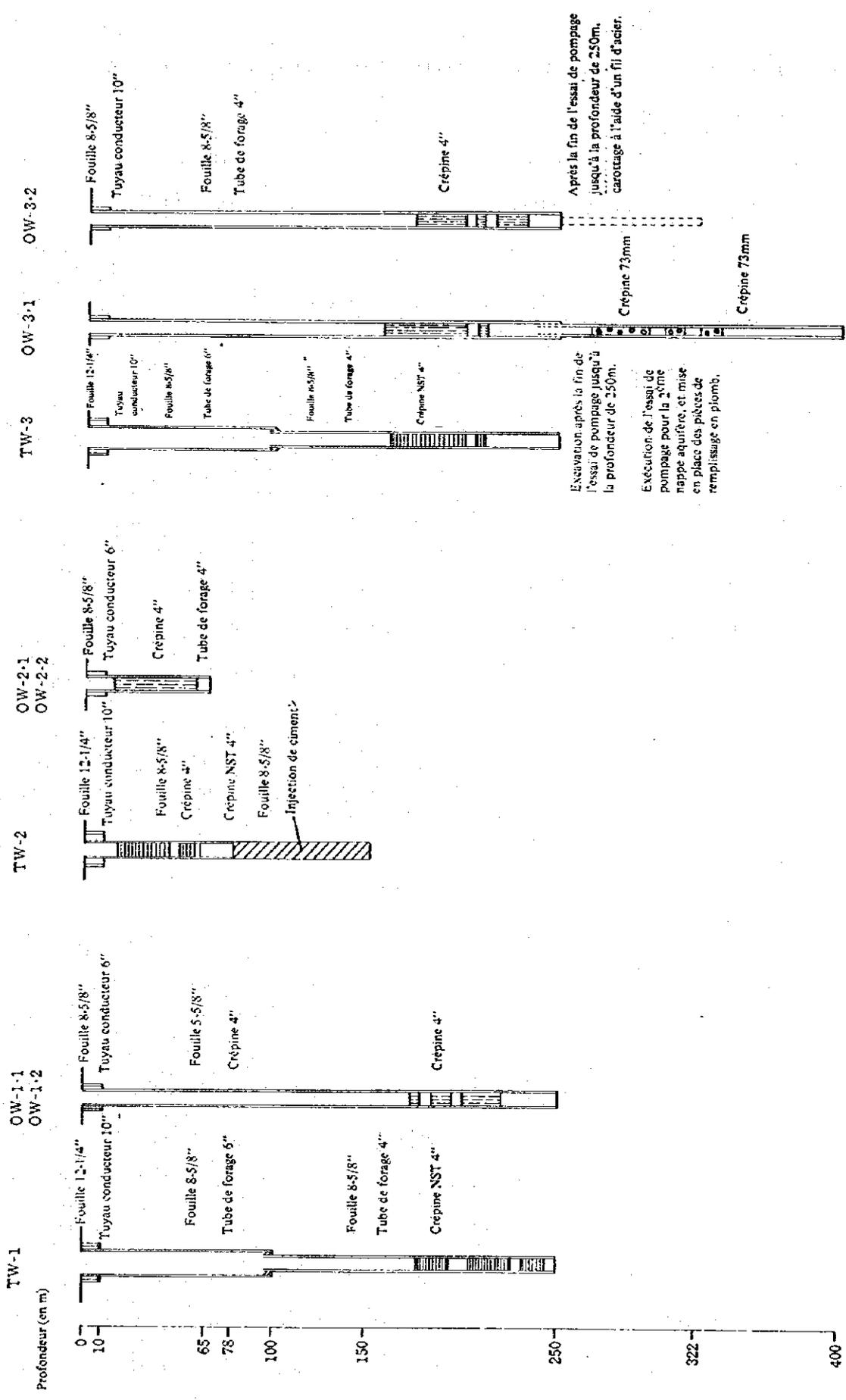


Schéma 3-1 Structures du puits d'observation et du puits de pompage

du carottage du puits d'observation OW-3.2. On a toutefois dû modifier l'emplacement en OW-3.1, l'excavation s'étant avérée impossible au-delà de 322 m.

L'intervalle entre les puits et leur emplacement ainsi que l'emplacement de chaque lieu d'essai sont indiqués au tableau 3.2. En particulier, il est à noter que l'emplacement des puits d'essai correspond à la direction de pente des couches intéressées.

Tableau 3-2 Intervalle des puits d'essai et leur emplacement

Lieux	Intervalle			Emplacement
	Origine	Puits d'observation (1 ^{er})	Puits d'observation (2 ^e)	
WP-1	TW-1	50 m	100 m	N 20° W
WP-2	TW-2	30 m	100 m	N 70° W
WP-3	TW-3	30 m	100 m	N 70° E

3-3 COUCHES GÉOLOGIQUES DES LIEUX OÙ ONT ÉTÉ EFFECTUÉS LES ESSAIS

Les coupes de sondage de chaque lieu d'essai sont obtenues d'après les résultats des boues de forage et des prospections effectuées dans les trous. Les prospections dans les trous ont été effectuées comme suit:

- Prospection électrique
 - méthode de résistivité spécifique
 - méthode au potentiel électrique
 deux-pôles—distance des pôles: 12.5 cm, 25 cm
 (exécution uniquement pour la puits de pompage)
 trois pôles—distance entre les pôles: 25 cm
- Prospection par rayons radioactifs battage par rayons gamma

La structure géologique de chaque emplacement est mentionnée ci-après. En outre, la structure géologique de chaque emplacement et la position de la crépine de chaque puits d'essais figurent au schéma 3-2.

(1) Emplacement WP-1

La série d'Irhazèr s'entasse sur la couche supérieure d'Izégouandane, et la couche de Téloua n'existe pas. La couche inférieure d'Izégouandane contenant la 2^{ème} nappe aquifère est donc considérée comme la couche faisant l'objet des essais. Le niveau de la face supérieure de la couche inférieure d'Izégouandane est de 160 m environ au-dessous du sol, et son épaisseur est de 80 m. Cette couche s'incline doucement de 5° vers le Nord. Il a été prévu, de mettre en place une crépine, pour les essais effectués principalement dans les grès moyens à grossiers d'arkose, et non dans les silts et grès fins. Du fait que, d'une part, l'eau de la nappe artésienne de 15 l/min environ a été découverte dans le puits de reconnaissance et que, d'autre part, l'eau a jailli de la partie supérieure d'un tuyau en acier dépassant de 5,5 m la surface du sol, le niveau de l'eau à mesurer se trouve, selon

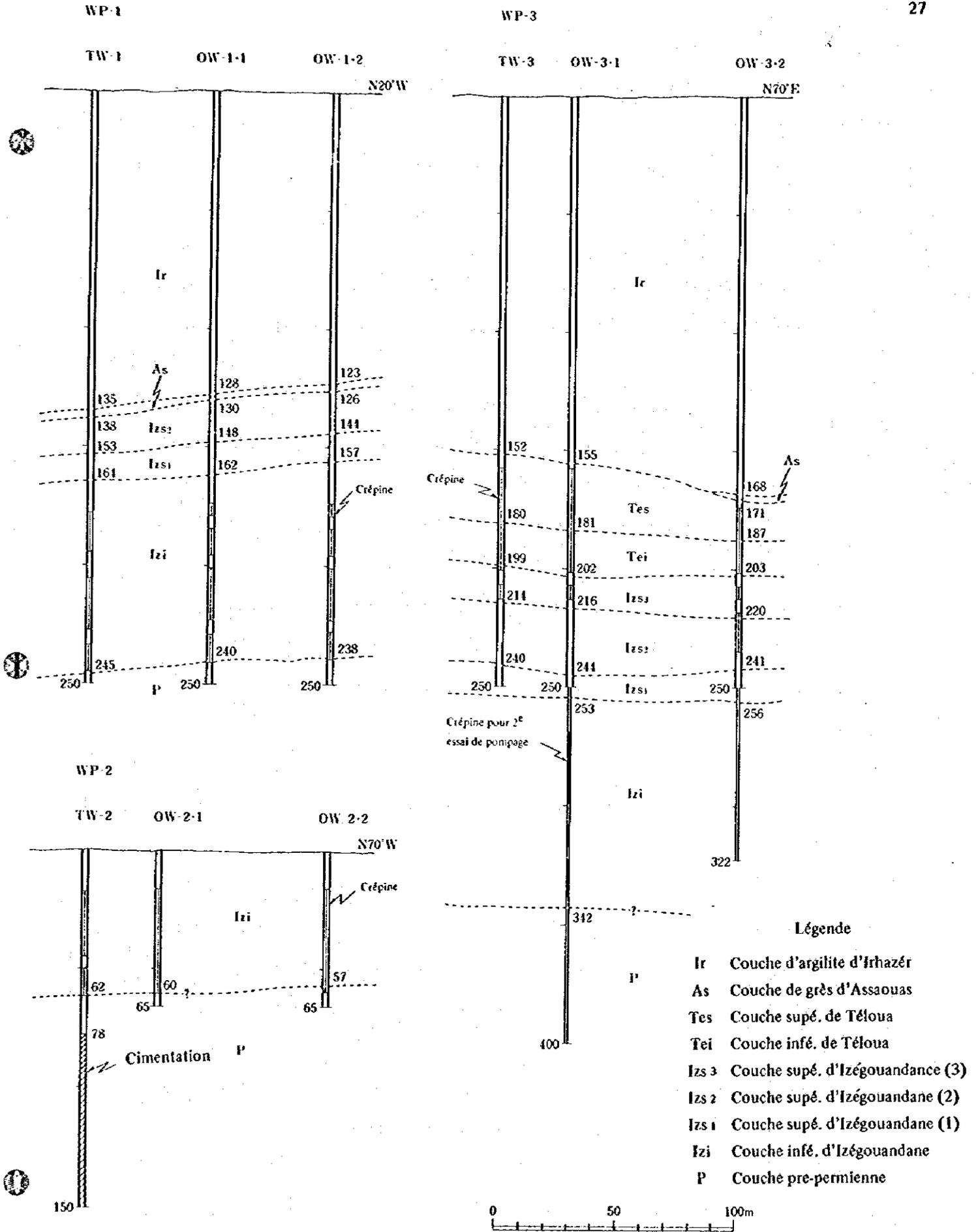


Schéma 3-2 Plan géologique et coupe géologique de la zone entre Tegguidda in Tessoum et Azélik

niveau de l'eau à mesurer se trouve, selon les estimations, à 6 m au-dessus du sol.

(2) Emplacement WP-2

Cet emplacement correspond à l'affleurement en surface de la couche inférieure d'Izégouandane. Le puits d'essai est excavé à partir du milieu de la partie supérieure de la couche inférieure d'Izégouandane. La face inférieure de la couche inférieure d'Izégouandane se trouve à une profondeur de 60 m environ. Cette couche a une pente douce de 2° orientée Ouest-Nord-Ouest. On admet que cette couche est formée principalement de grès moyens à grossiers d'arkose, les grains grossiers représentant plus de la moitié du total.

Le puits de pompage TW-2 atteint la couche prépermienne à 62 m de profondeur. Ladite couche est constituée par l'alternance de silt et de grès fins à moyens. A la suite d'excavations effectuées à une profondeur de 150 m, l'eau a été pompée à l'aide d'un élévateur pneumatique aux environs du fond du trou. L'eau pompée de nature saline présentant une conductibilité électrique de 25.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, une injection de ciment a été effectuée à une profondeur de 73 m, afin d'enfermer l'eau salée. Un tuyau de forage a été mise en place jusqu'à 15 m au-dessous du sol, ainsi qu'une crépine installée à partir de la même profondeur jusqu'à la face inférieure de la couche inférieure d'Izégouandane. Des résultats obtenus, on peut déduire que l'eau souterraine du lieu correspond à la nappe libre, et que le niveau de l'eau se situe à 2 m au-dessous du sol.

(3) Emplacement WP-3

Cet emplacement correspond à la couche de Téloua de la série d'Agadès. Le premier essai de pompage a été effectué dans cette couche. La profondeur de la face supérieure de la couche de Téloua à cet emplacement est de 160 m environ, et son épaisseur est de 47 m, tandis qu'à l'emplacement OW-3.2 son épaisseur est de 32 m, étant donné que la série d'Irhazèr s'enfonce dans la partie supérieure de ladite couche. Compte tenu de la profondeur de la base de cette couche, on admet qu'elle s'incline doucement de quelques degrés dans la direction Est/Sud-Est. Une crépine a été mise en place, d'une part, dans la couche de Téloua composée principalement de grès quartzitique à grains moyens isogranulaires et, d'autre part, dans les niveaux gréseux de la couche supérieure d'Izégouandane située au-dessous de la couche de Téloua. A la suite d'excavations réalisées jusqu'à une profondeur de 250 m, le niveau de l'eau souterraine s'est avéré être de 11 m au-dessous du sol.

Un essai de pompage supplémentaire a été effectué dans la couche inférieure d'Izégouandane, à la suite de nouvelles excavations dans le puits d'observation OW-3.1, effectuées de 250 m à 400 m de

profondeur, en vue de déterminer la structure géologique des couches situées au-dessous de la couche de Téloua. La profondeur de la face supérieure de la couche inférieure d'Izégouandane est de 255 m, et son épaisseur est de 89 m, donc assez importante. Une crépine a été mise en place dans les grès d'arkores moyens à grossiers, mais non dans les silts et grès fins. Lors du 2^e essai de pompage, le niveau de l'eau souterraine s'est avéré être de 6 m au-dessous du sol, ce qui représente un chiffre assez élevé par rapport à celui obtenu lors des opérations d'excavation effectuées jusqu'à 250 m de profondeur. Les résultats obtenus indiquent que la hauteur de chute de l'eau soumise à la charge dans les couches sous-jacentes ou dans la couche inférieure d'Izégouandane de cette zone est importante.

Par ailleurs, la couche supérieure d'Izégouandane se trouvant entre la couche de Téloua et la couche inférieure d'Izégouandane est principalement caractérisée par une alternance de silts et de grès fins. Dans son ensemble, ladite couche peut être considérée comme une nappe non aquifère, constituant ainsi une cloison entre les deux nappes aquifères au-dessus et au-dessous de la présente couche.

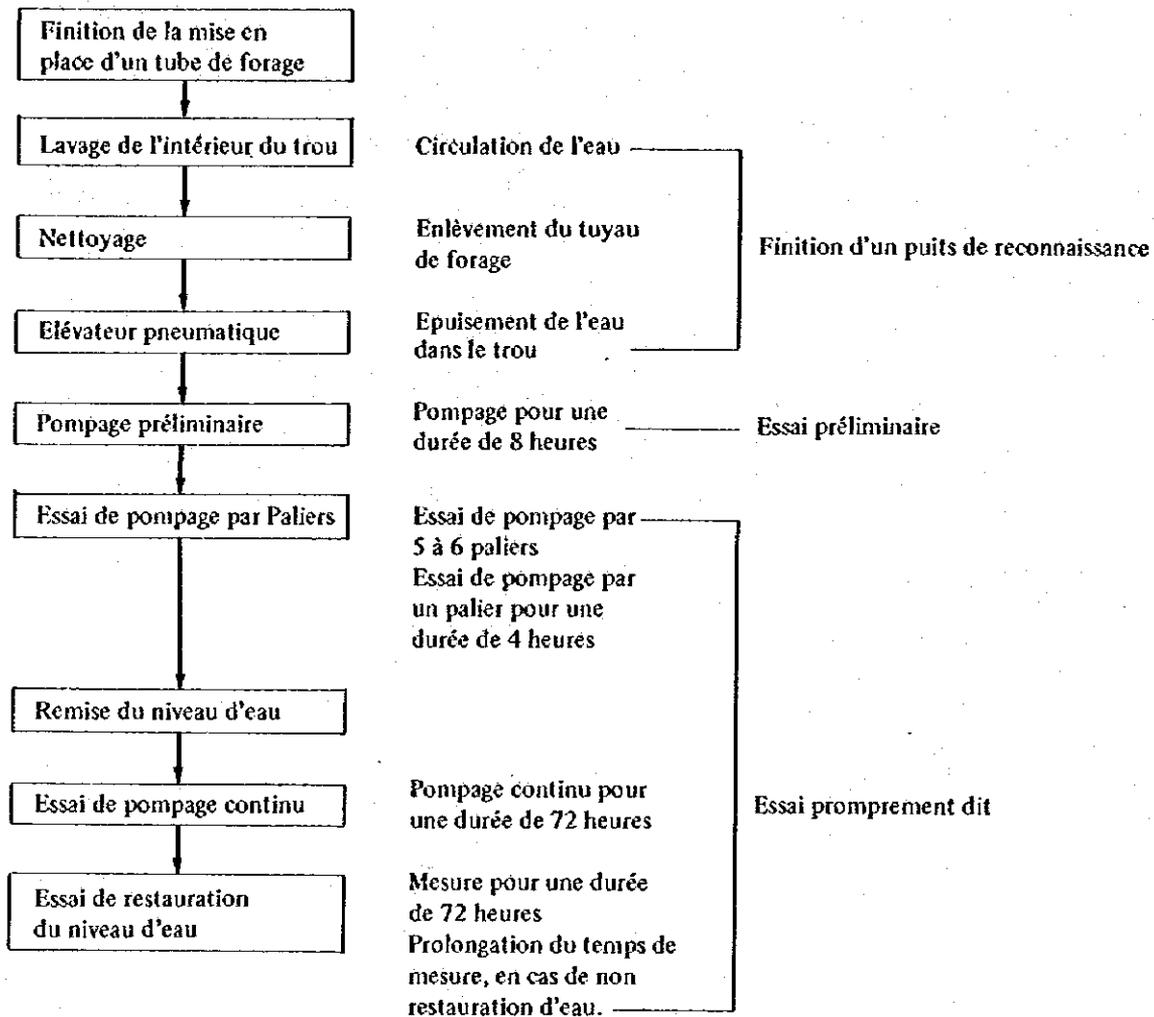
La couche prépermienne située à 343 m de profondeur pourrait, donc, être caractérisée par une alternance de silts et de grès fins. Les couches faisant l'objet des essais (localisation des crépines) et les faciès de roche de chaque emplacement sont indiqués au tableau 3-3.

Tableau 3-3 Couches faisant l'objet des essais de pompage et faciès de roche

Emplacement	Nappe aquifère	Couches géologiques	Faciès de roche	Prof. moyenne	Épaisseur
WP-1	2 ^{ème} nappe aquifère	Toute la couche infé. d'Izégouandane	Couche principalement composée de grès d'arkose moyen à grossier	175 à 240m	65m
WP-2	2 ^{ème} nappe aquifère	Niveaux moyen et infé. de la couche infé. d'Izégouandane	"	0 à 60m	60m
WP-3	1 ^{ère} nappe	Couches supé. et infé. de Téloua, Une partie des niveaux gréseux de la couche supé. d'Izégouandane (1)	Grès quartzitique contenant conglomérat, Grès moyen quartzitique irogranulaire, Grès moyen feldspathique	160 à 217m	57m
	2 ^{ème} nappe aquifère	Toute la couche infé. d'Izégouandane	Grès d'arkose moyen à grossier	268 à 337m	69m

3-4 MÉTHODE DES ESSAIS DE POMPAGE

On a exécuté les essais relatifs à la nappe aquifère (essai de pompage continu, essai de restauration du niveau d'eau) est les essais de pompage par paliers. L'ordre des différentes phases des opérations est indiqué comme suit:



Les intervalles de temps liés aux mesures du niveau de l'eau de chaque essai sont donnés, pour chaque essai, au tableau 3-4.

Tableau 3-4 Ecartement de temps de mesure du niveau d'eau

Essai	Puits	Temps										
		0	5min.	10	30	1 ^h	2	4	8	16	24	72
Essai de pompage par paliers	Puits de pompage	30 sec	1 min	2 min	5 min	10	20					
	Puits d'observation	5min	5	5	5	10	20					
Essai de pompage continu Essai de restauration du niveau d'eau	Puits de pompage	30 sec	1 min	2	5	10	20	30	1 ^h	2 ^h	4 ^h	
	Puits d'observation	1min	1	2	5	10	20	30	1 ^h	2 ^h	4 ^h	

Le diamètre des pompes immergées utilisées lors des essais de pompage est de 6" dans les emplacements WP-1, WP-3 (1^{ère} nappe aquifère), compte tenu du diamètre des puits de pompage, tandis que celui dans les emplacements WP-2, WP-3 (2^{ème} nappe aquifère) est de 4". Toutes les pompes ont été installées à une profondeur de 60 m.

3-5 RÉSULTATS DES ESSAIS DE POMPAGE

3-5-1 GRANDES LIGNES DES RÉSULTATS DES ESSAIS DE POMPAGE

Les résultats des essais de pompage et les résultats des analyses sont indiqués au tableau. En outre, les résultats des essais de pompage par paliers, des essais de pompage continu, et des essais de restauration du niveau de l'eau figurent aux tableaux 1 à 2 en Annexe (tableaux des résultats des essais) ainsi que sur les schémas 5 à 10 en Annexe (variation du niveau de l'eau).

Tableau 3-5 RESULTAT DES ESSAIS DE POMPAGE

Lieu d'essai	WP-1	WP-2	WP-3	
Nappes aquifères	La 2 ^{ème} nappe aquifère	La 2 ^{ème} nappe aquifère	La 1 ^{ère} nappe aquifère	La 2 ^{ème} nappe aquifère
Rabattement de nappe aquifère	54,15m	10,48m	42,23	28,82m
Débit	143,4 l/min. (206,0m ³ /jour)	139,0 l/min. (200,0m ³ /jour)	425,5 l/min. (652,0m ³ /jour)	139,0 l/min. (200,0m ³ /jour)
Débit spécifique	2,6 l/min/m	13,3 l/min/m	10,7 l/min/m	4,8 l/min/m
Coefficient de quantité d'eau d'infiltration	$5,76 \times 10^{-4}$ m ³ /sec/m	$2,57 \times 10^{-4}$ m ³ /sec/m	$6,12 \times 10^{-4}$ m ³ /sec/m	$5,51 \times 10^{-4}$ m ³ /sec/m
Coefficient de perméabilité	$2,19 \times 10^{-6}$	$8,15 \times 10^{-6}$	$1,35 \times 10^{-5}$	$1,02 \times 10^{-5}$
Coefficient de stock	$3,91 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-2}$	$1,46 \times 10^{-4}$	$3,27 \times 10^{-4}$
Rayon du domaine * d'influence	3,1km	0,35km	4,7km	2,7km

* représente la valeur évaluée lorsque le pompage s'effectue pour une durée de 3 jours et le rabattement est de 0,001m.

La première nappe aquifère des emplacements WP-2 et WP-3 donne des résultats relativement favorables en ce qui concerne le débit spécifique et également le coefficient de perméabilité. Cette nappe aquifère

correspond à la catégorie de nappe aquifère, d'après le coefficient de perméabilité.

Tableau 3-6 Coefficient de perméabilité

Coefficient de perméabilité	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Sorte du sol	Gravier		Gravier et sable			Sable, silte, argile				Terrain imperméable		
Nature de couche	Nappe aquifère					Nappe peu perméable				Non nappe aquifère		
Epuisement	Bon épuisement					Mauvais épuisement			Non épuisement			

(D'après Institut de recherches géologiques des Etats-Unis)

Par ailleurs, le coefficient de réserve a une valeur élevée à l'emplacement de WP-2, ce qui est causé par l'état libre de l'eau souterraine du présent emplacement. Il est à noter que le coefficient de réserve de la nappe libre entend par le coefficient de vide effective. En outre, en WP-3 le rayon de la circonférence d'interférence est plus faible que celui des autres emplacements, ce qui est dû à l'état libre de l'eau souterraine dudit emplacement.

3-5-2 DÉBIT LIMITE

Plusieurs concepts existent pour la détermination du débit limite à partir des résultats des essais par paliers. Cependant, on entend, par débit limite, la valeur à partir de laquelle la variation du rabattement de la nappe aquifère devient importante, c'est à dire le débit où l'écoulement de l'eau souterraine change de l'état d'écoulement permanent en état d'écoulement turbulent; autrement dit, le seuil à partir duquel le débit (débit économique) n'augmente pas beaucoup, même si on abaisse le niveau de l'eau.

Les débits limites sont représentés par les courbes "débit -- rabattement réel de la nappe aquifère" * (schéma 3-3 établies sur la base des valeurs mesurées lors des essais de pompage par paliers comme le montre le tableau 3-7.

* Le rabattement réel de nappe aquifère S_w correspond à celui observé dans un tuyau de forage. Il a une valeur plus élevée que celle observée à l'extérieur du tuyau à cause de la perte de hauteur de chute de la crépine. Le rabattement de l'extérieur du tuyau de forage dans l'état d'écoulement laminaire est désigné sous le nom de "rabattement théorique." Celui-ci est lié au rabattement réel, comme l'indique la formule ci-dessous:

$$S_w = S + S_s$$

où:

S : rabattement théorique

S_s : rabattement dû à la perte de débit.

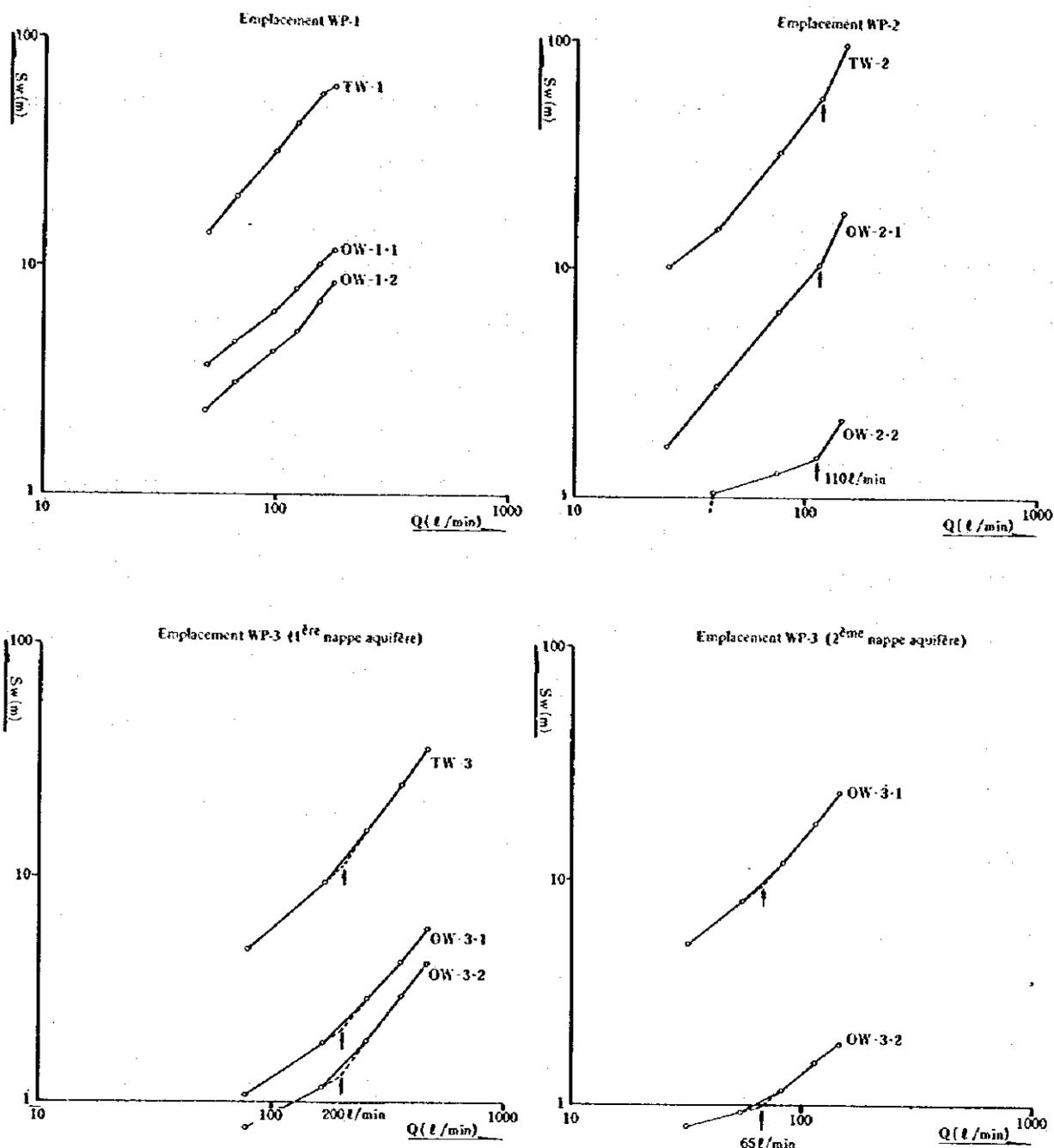


Schéma 3-3 Essais de pompage par paliers:
Courbe " débit - rabattement réel de la nappe aquifère

Tableau 3-7 Débit limite

Emplacement	nappe aquifère	Débit limite	rabattement de nappe aquifère
WP-1	2 ^{ème} nappe aquifère	infé. à 50 l/min	infé. à 14 m
WP-2	2 ^{ème} nappe aquifère	110 l/min	$5,5 \text{ m}$
WP-3	1 ^{ère} nappe aquifère	200 l/min	$10,5 \text{ m}$
	2 ^{ème} nappe aquifère	65 l/min	$9,5 \text{ m}$

3-5-3 RAYON DE LA CIRCONFÉRENCE D'INFLUENCE ET RABATTEMENT DE LA NAPPE AQUIFÈRE

On calcule le rayon théorique de la circonférence d'influence et le rabattement de la nappe aquifère, en se basant sur les constantes hydrologiques. Étant donné que la formule est établie en supposant que la nappe aquifère s'étend infiniment et uniformément, il existera évidemment une différence entre les valeurs mesurées et les valeurs théoriques à un endroit où se trouve un plan discontinu constitué, par exemple, par une faille.

On entend par circonférence d'influence la circonférence affectée par le rabattement de la nappe aquifère à la suite des opérations de pompage. Cependant, en pratique, on considère que le rayon de la circonférence d'influence est représenté par la distance entre le puits en question et l'emplacement affecté notablement par le rabattement de la nappe aquifère ayant une incidence sur la quantité d'eau pompée des puits situés à proximité.

Si le rabattement de la nappe aquifère est de 0,001m, le rayon de la circonférence d'influence - représentant la distance entre le puits en question et le puits situé sur la circonférence d'influence - sera déterminé, en fonction:

- 1) du débit donné, et
- 2) de la durée du temps de pompage (3 jours, 30 jours, 1 an, 10 ans, 20 ans)

à l'aide de la formule de "non-équilibre" de Theis, comme l'indique le Tableau 3-9

Formule de "non-équilibre" de Theis

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \int_0^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$u = r^2 S / 4T t$$

où : S ; Rabattement de la nappe aquifère en m

Q ; Débit en m³/sec

r ; Distance en m

t ; Temps en sec

T ; Coefficient de quantité d'eau d'infiltration

S ; Coefficient de stockage

W(u) ; fonction du puits (u)

La description de la 2^{ème} nappe aquifère à l'emplacement WP-3 est omise, étant donné que les conditions de calcul sont presque les mêmes que dans le cas de l'emplacement WP-1.

Tableau 3-8 Rayon de la circonférence d'influence

Emplacement Débit Temps	WP-1					WP-2					1 ^{ère} nappe aquifère en WP-3				
	3 jours	30 jours	1 an	10 ans	20 ans	3 jours	30 jours	1 an	10 ans	20 ans	3 jours	30 jours	1 an	10 ans	20 ans
30m ³ /jour	2,7 ^{km}	8,4 ^{km}	29 ^{km}	93 ^{km}	130 ^{km}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	2,7	8,7	30	95	135	0,30 ^{km}	0,95 ^{km}	3,3 ^{km}	11 ^{km}	15 ^{km}	—	—	—	—	—
100	2,9	9,2	32	100	140	0,33	1,0	3,6	11	16	3,9 ^{km}	12 ^{km}	43 ^{km}	140 ^{km}	190 ^{km}
200	3,1	9,6	34	110	150	0,35	1,1	3,8	12	17	4,2	13	47	150	210
300	3,2	10	35	110	155	0,36	1,1	3,9	13	18	4,4	14	49	150	220
400	—	—	—	—	—	0,37	1,2	4,0	13	18	4,5	14	50	160	220
500	—	—	—	—	—	0,37	1,2	4,1	13	18	4,6	15	51	160	230
600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,7	15	51	160	230

En outre, on peut calculer d'après la formule de "non-équilibre" de Theis, le rabattement de la nappe aquifère d'un emplacement à une certaine distance du puits de pompage, si l'on obtient les valeurs supposées du temps de pompage et du débit. Les résultats des calculs des rabattements de la nappe aquifère pour une durée de pompage d'un an et de 10 ans sont indiqués sur le Schéma 3-4.

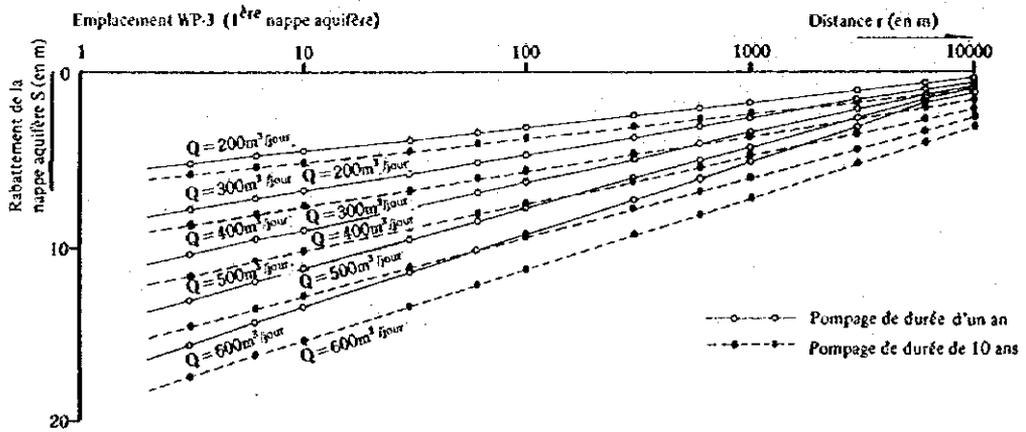
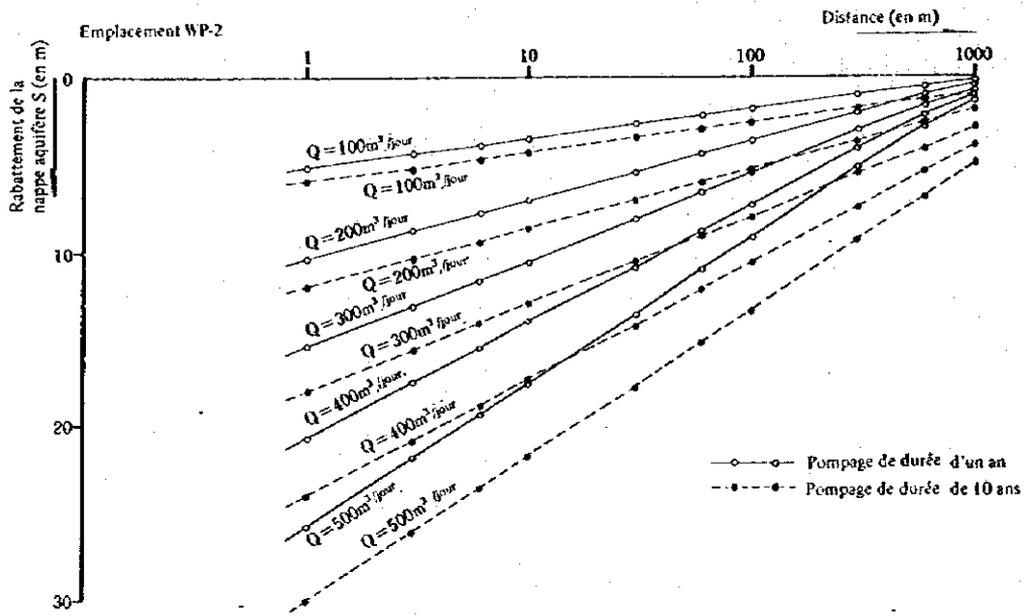
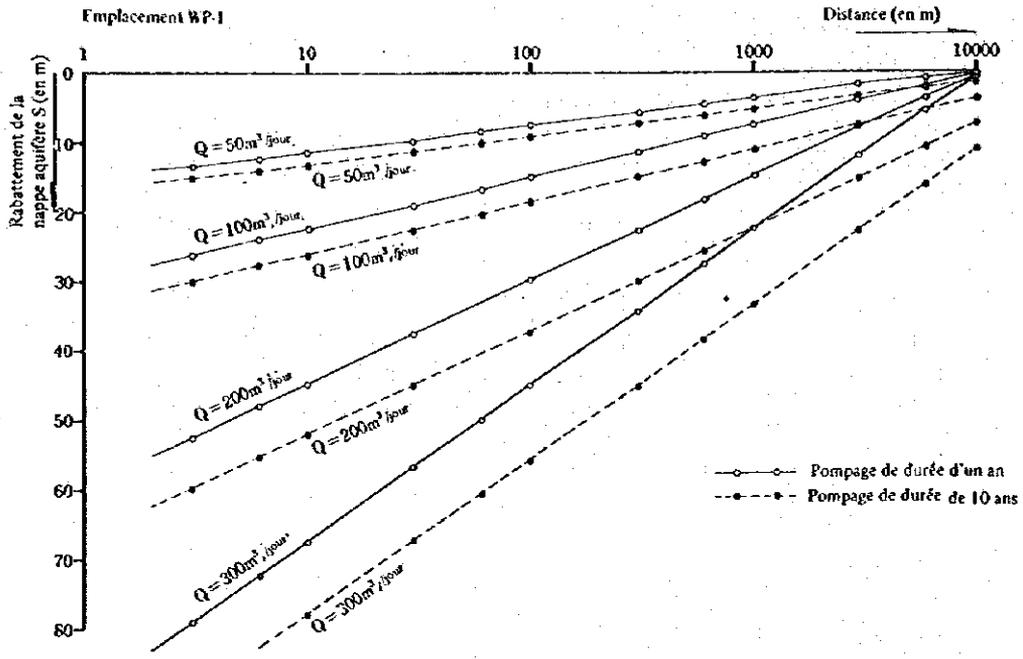


Schéma 3-4 Courbe du rabattement de la nappe aquifère (1 an, 10 ans)

CHAPITRE 4 DÉTERMINATION DES ZONES FAISANT L'OBJET DE L'EXPLOITATION

4-1 EVALUATION DES EMPLACEMENTS OÙ ONT ÉTÉ EFFECTUÉS LES ESSAIS DE POMPAGE

On va vérifier ci-dessous la possibilité d'exploitation des ressources en eau pour lesdits emplacements à la suite des essais de pompage et des résultats de l'analyse de la qualité des eaux.

(1) Emplacement WP-1

Cet emplacement correspond à la 2^{ème} nappe aquifère et un volume d'eau de 15 l/min est capté à partir du puits de reconnaissance. Cette eau possède, d'une part, une conductibilité électrique de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ce qui correspond à un type d'eau moyennement saline et, d'autre part, un coefficient de concentration en ions chloriques assez élevé de 1300 mg/l. De plus, sans traitement adéquat, cette eau n'est pas utilisable comme eau potable. Signalons, cependant, qu'un tel traitement est particulièrement coûteux.

En outre, les résultats des essais de pompage indiquent que le débit spécifique (2,6 l/min/m) et le coefficient de perméabilité ($2,2 \times 10^{-6}$ m/sec) présentant des valeurs moins élevées que dans les autres emplacements. La couche inférieure d'Izégouandane contenant la nappe aquifère se trouvant dans toute la région étudiée, à une épaisseur stable de 70 à 90 m, l'existence de la nappe aquifère est donc vérifiée. S'il s'agit d'un volume important de pompage, il est nécessaire de prévoir un grand nombre de puits à cause du faible débit par puits, ce qui exige une vaste zone destinée à l'exploitation, compte tenu de rayon de la circonférence d'interférences réciproques.

Au cas où il n'y aurait pas d'autres emplacements contenant des ressources en eau adéquates, on sera contraint d'adopter le présent emplacement. Toutefois, des résultats favorables ayant été obtenus à la suite des essais effectués aux emplacements WP-2, et WP-3 (1^{ère} nappe aquifère), le présent emplacement pourra être omis des zones faisant l'objet de l'exploitation.

Par ailleurs, en ce qui concerne la 2^{ème} nappe aquifère à l'emplacement WP-3 au côté Sud du dôme, on peut faire pratiquement la même constatation qu'à l'emplacement WP-1. Néanmoins, du fait que, d'une part, la qualité de l'eau se rapproche de celle de l'eau douce et que, d'autre part, la nappe aquifère se situe à une profondeur considérable, ladite nappe présente également des difficultés pour l'exploitation d'eaux souterraines.

(2) Emplacement WP-2

Cet emplacement contient l'eau libre située dans la 2^{ème} aquifère du centre du dôme. Cette eau entre dans la catégorie de l'eau douce puisque sa conductibilité électrique est de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On considère donc

4-2 VOLUME ESTIMÉ DES RÉSERVES EN EAU SOUTERRAINE

On calcule approximativement ci-après la quantité de l'eau douce du centre du dôme de l'emplacement WP-2, et la lère nappe aquifère de l'emplacement WP-3, les deux emplacements ci-dessus présentant des possibilités d'exploitation.

(1) Emplacement WP-2

Dans l'hypothèse où la limite entre l'eau douce et l'eau moyennement saline existe à 280 m d'altitude, limite située au milieu de l'altitude de la face supérieure de la couche inférieure d'Izégouandane TW-1 et de l'altitude de la base de la couche inférieure d'Izégouandane TW-2, la zone d'eau douce a une surface de 10km x 3km, et la nappe aquifère a une épaisseur de 30m environ. Le coefficient de vide effectif du grès est de 10 à 20%. La quantité de réserve d'eau douce du dôme est alors la suivante, compte tenu du coefficient de 10%.

$$10 \times 10^3 \text{ m} \times 3 \times 10^3 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 0,1 = 9 \times 10^7 \text{ m}^3$$

(2) Emplacement WP-3

On estime que l'épaisseur du groupe d'Agadès contenant les couches inférieure et supérieure de Téloua augmente progressivement au fur et à mesure que l'on s'approche du massif de l'Air à l'Est du centre du dôme. Cependant, ledit groupe ne s'étend pas uniformément au côté Est du dôme, mais est divisé par les failles orientées Sud/Nord et Est-Nord/Ouest-Sud-Ouest. Ce bassin aquifère n'est pas toujours divisé par la faille. Toutefois, à propos de l'emplacement WP-3 au côté Sud du dôme, la quantité d'eau en réserve du bassin aquifère est calculée en supposant que celui-ci soit entouré par les failles d'Azélik, de Tegguidda in Adrar et de Fagoschia, comme l'indique le schéma 4.1. Dans l'hypothèse d'une superficie de la nappe aquifère de 65km x 25km environ, d'une épaisseur minimum de la couche gréseuse de 50m et d'un coefficient de vide effectif de 10%, la quantité d'eau en réserve est la suivante:

$$65 \times 10^3 \text{ m} \times 25 \times 10^3 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 0,1 = 8 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Néanmoins, il est impossible de capter toute la quantité d'eau en réserve, la quantité possible de captage n'étant que de quelque %. Dans l'hypothèse d'un taux de captage de 1%, la quantité de captage de l'eau douce se trouvant au centre du dôme est de $9 \times 10^5 \text{ m}^3$, tandis que celle de l'eau souterraine se trouvant dans le groupe d'Agadès entouré par les 3 failles à l'emplacement WP-3 est de $8 \times 10^7 \text{ m}^3$.

que ladite eau présente des caractéristiques favorables, même si sa dureté est relativement élevée.

En outre, le débit spécifique ($13,3 \text{ l/min/m}$), ainsi que le coefficient de perméabilité ($8,2 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$) sont relativement favorables. Etant donné que l'eau se trouve dans la nappe libre, le diamètre de la circonférence d'interférences réciproques est faible. Toutefois, le débit limite est assez faible et le rabattement de la nappe aquifère aux environs du puits est assez important.

Enfin, il existe des avantages tels que la situation de cet emplacement à proximité de l'usine d'affinage en cours de projet et des villes, et le fait que cette eau peut être captée dans une couche peu profonde. Etant donné que cette eau est devenue douce au cours des années à cause de l'infiltration des eaux de surface à partir de l'affleurement en surface de la couche inférieure d'Izégouandane, elle n'existe que dans la partie supérieure de la 2^{ème} nappe aquifère affectée par les eaux de surface. Il existe donc des problèmes non résolus en ce qui concerne le volume estimé des réserves et le volume possible de captage comme mentionné ci-après.

(3) Emplacement WP-3

Le débit spécifique ($10,7 \text{ l/min/m}$) et le coefficient de perméabilité ($1,3 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$) présentent des valeurs favorables dans la 1^{ère} nappe aquifère de cet emplacement. Le débit limite du présent emplacement d'essai a la valeur la plus importante, le rayon de la circonférence d'interférences réciproques est donc important. Néanmoins le rabattement de la nappe aquifère aux environs du puits est faible.

La conductibilité électrique étant de $1300 \mu\text{S/cm}$, l'eau en question appartient donc au type de l'eau douce. Toutefois, le PH est de 9 et le coefficient de concentration en ions de bicarbonate présente une valeur élevée.

La qualité de ladite eau se rapproche fortement de celle de l'eau artésienne (100 l/min environ) du puits profond de Téyndi utilisé actuellement par la firme International Ressources S.A. On considère donc que le captage de l'eau à l'emplacement WP-3 est réalisable à partir de la même nappe aquifère. L'existence des couches supérieure et inférieure de Téloua n'est pas confirmée à l'Ouest du centre du dôme. Toutefois on admet que lesdites couches se trouvent au côté Est du centre du dôme. On considère qu'au moins à l'emplacement WP-3, ces couches existent jusqu'au bassin aquifère entouré par les failles d'Azélik, de Teggidda in Adiar, et de Fagoschia. L'emplacement WP-3 est donc le plus prometteur parmi les zones faisant l'objet de l'exploitation, du point de vue de la quantité d'eau.

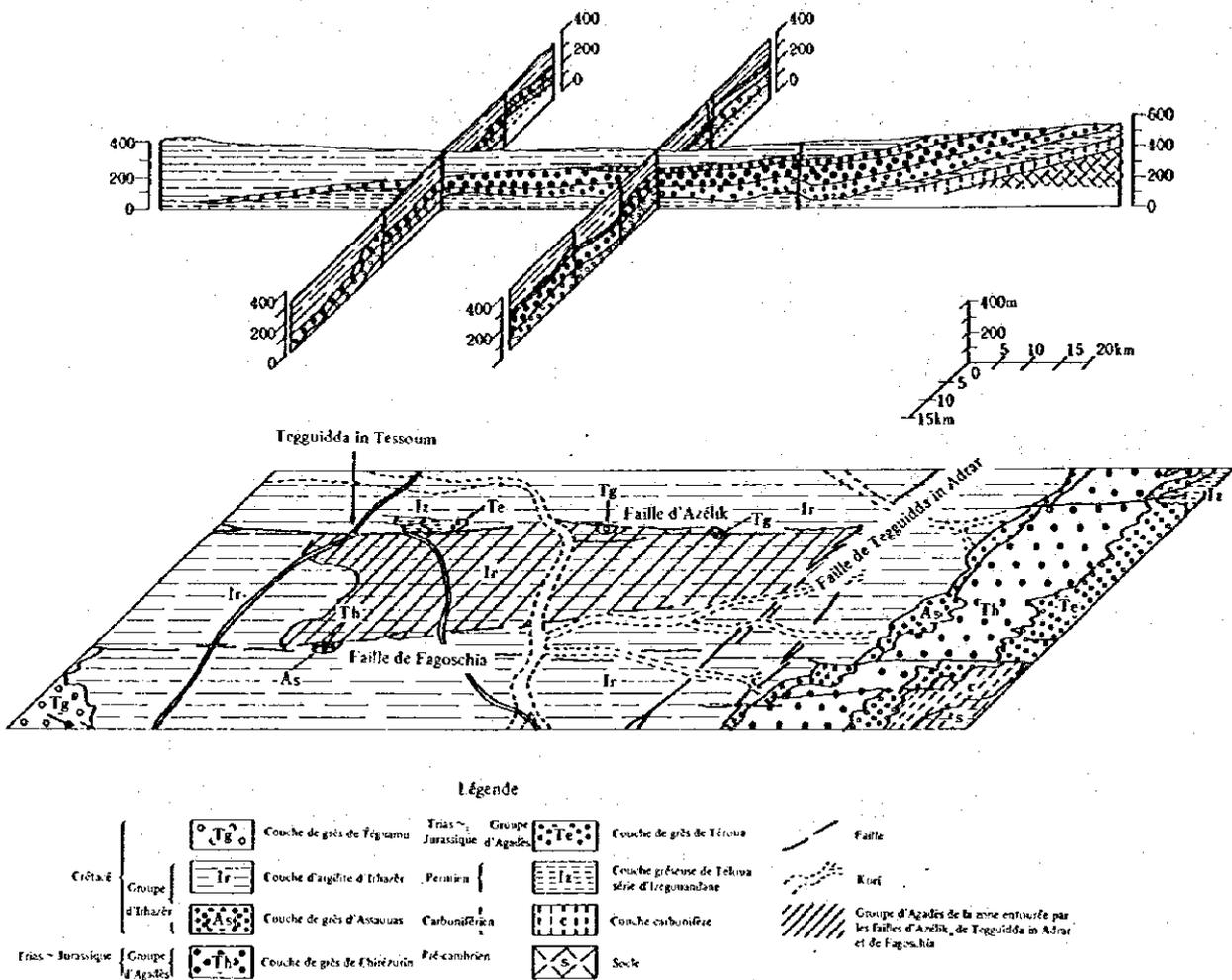


Schéma 4-1 Groupe d'Agadès de la région au côté Sud de la faille d'Azélik

4-3 DÉTERMINATION DES ZONES FAVORABLES À L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU ET DESCRIPTION DES PROBLÈMES SOULEVÉS

4-3-1 DÉTERMINATION DES ZONES

D'après les résultats de l'analyse de la qualité d'eau, on peut citer, comme zones faisant l'objet de l'exploitation des ressources en eau, la partie contenant l'eau douce (emplacement WP-2) de la couche inférieure d'Izegouandane et la couche de Téloua du côté Sud du dôme (WP-3). L'eau douce du centre du dôme se trouvant en état de suspension sur l'eau moyennement saline, sa quantité est donc limitée. On estime que la couche de Téloua de l'emplacement WP-3 s'étend à partir du centre du dôme vers le côté Est.⁴ Même si le bassin aquifère est divisé par

des failles, la couche de cet emplacement est continue jusqu'au bassin aquifère entouré par les failles d'Azélik, de Tegguidda in Adrar, et de Fagoschia. Le présent emplacement est donc favorable du point de vue de la quantité d'eau.

En outre, du fait que la présence d'une source a été mise en évidence dans la couche de Téloua aux environs d'Azélik, il est possible d'exploiter les eaux de cette zone. Toutefois, les résultats des forages de prospection effectués à proximité de cette région indiquent que la profondeur de la couche de Téloua du côté Est du dôme est extrêmement importante.

Par conséquent, parmi les zones faisant l'objet de l'exploitation des ressources en eau, l'emplacement WP-3 du côté du dôme possède une eau satisfaisante du point de vue de la qualité et la quantité, alors que l'emplacement WP-2 du centre du dôme est considéré comme une zone d'appoint destinée à compléter l'emplacement WP-3.

4-3-2 PROBLÈMES SOULEVÉS

Les problèmes soulevés par l'exploitation des ressources en eau sont les suivants:

– Problèmes soulevés à l'emplacement WP-3 du côté Sud du dôme.

Du fait qu'il est possible qu'aux certains endroits le groupe d'Irhazèr s'enfonce à une grande profondeur dans les couches sous-jacentes, la continuité et l'épaisseur de la nappe aquifère devront impérativement être prises en considération.

En outre, il conviendra de noter, d'une part, l'interférence affectée aux puits existants lors des opérations de captage à un débit important et, d'autre part, le risque, aux environs des failles, de faire monter une eau profonde fortement saline le long de ces failles.

– Problèmes soulevés à l'emplacement WP-2 du centre du dôme

Au cas où le centre du dôme ferait provisoirement l'objet de l'exploitation des ressources en eau, les problèmes suivants se poseront.

La zone contenant l'eau douce du centre du dôme ne se trouve que dans la partie supérieure affectée par les eaux de surface. Par ailleurs l'eau moyennement saline de la 2^{ème} nappe aquifère des emplacements WP-1, WP-3 se situe dans les couches profondes recouvertes par les couches situées au-dessus de la couche inférieure d'Izégouandane. En outre, la couche prépermienne contient de l'eau saline. Par conséquent, il existe un risque de mélange entre l'eau saline et l'eau douce située au-dessus d'elle, à la suite d'un pompage excessif, ainsi qu'un risque de mélange causé par la présence d'eau saline dans la couche prépermienne.

CHAPTRE 5. PROJET D'INSTALLATIONS DE CAPTAGE DES EAUX

5-1 BESOINS EN EAU

5-1-1 EAUX DE DIVERS SERVICES

Ces eaux peuvent être classées en:

- (1) Eaux industrielles (raffinage)
 - (a) eau de traitement des minerais d'uranium
 - (b) eau de chaudière
 - (c) eau d'entretien des véhicules
 - (d) eau d'incendie
 - (e) eau potable destinée aux employés du complexe
 - (f) eau d'arrosage dans l'usine
- (2) Eau potable des agglomérations
 - (a) eau potable destinée aux employés et à leurs familles
 - (b) eau potable destinée aux habitants (y compris les agglomérations de Tegguidda in Tessoum)
 - (c) eau destinée à l'usage des établissements publics
 - (d) eau d'arrosage des jardins

5-1-2 BESOINS TOTAUX EN EAU

La quantité totale d'eaux industrielles (affinage) nécessaires à l'exploitation des minerais d'uranium et d'eau potable des agglomérations est de 4 000 m³/jour comme l'indique le tableau 5-1.

Tableau 5-1 Besoins totaux en eau

Usage	Quantité d'eau (m ³ /jour)	Pourcentage (%)
Eaux industrielles (affinage)	2 200	55
Eau potable des agglomérations	1 800	45
Besoins totaux en eau	4 000	100

5-2 OBJECTIF DU PROJET DES PUIITS

Du fait que la quantité escomptée d'eaux industrielles (affinage) et d'eau potable des agglomérations est de 4 000 m³ par jour, il sera nécessaire de prévoir une alimentation en eau importante. En conséquence, en ce qui concerne le projet d'exécution des puits et le pompage des eaux souterraines, des pompes immergées à rendement élevé devront être utilisées.

5-2-1 DEBIT DE POMPAGE

Le tableau 5-2 fait apparaître la relation entre les diamètres des puits, les rabattements de la nappe aquifère et le débit de pompage pour une durée de 3 jours, déterminée à l'aide de la formule de "non-équilibre" de Theis, compte tenu des constantes hydrologiques de la nappe aquifère en WP-3.

Tableau 5-2 Relation entre les diamètres des puits, les rabattements de nappe aquifère et les débits de pompage (durée de 3 jours de pompage)

Diamètre des puits	Rabattements de la nappe aquifère			
	5 m	10 m	15 m	20 m
6"	116 l/min (167 m ³ /jour)	232 l/min (334 m ³ /jour)	348 l/min (501 m ³ /jour)	464 l/min (668 m ³ /jour)
8"	118 (172)	239 (344)	359 (516)	478 (689)
10"	122 (176)	244 (352)	366 (527)	488 (703)

Le rabattement de la nappe aquifère pour le débit limite lors de l'essai de pompage par paliers de la 1^{ère} nappe aquifère en WP-3 est de 10,5 m (Voir tableau 3-7). Il en résulte que dans le cas où le diamètre du puits ne diffère pas notablement de celui du puits d'essai, un pompage à rendement satisfaisant et un écoulement continu seront assurés à condition que le rabattement de nappe d'eau souterraine soit inférieur à 10 m environ.

Si le diamètre du puits est de 6", le débit théorique pour le rabattement de 10 m est de 334 m³/jour, comme l'indique le tableau 5-2. Le débit de pompage du puits est donc de 300 m³/jour, compte tenu de 10% de perte occasionnée par les crépines. Par ailleurs, il peut s'avérer utile de prévoir un diamètre supérieur à celui de la crépine du puits d'essai et de combler avec du gravier l'espace annulaire entre cette crépine et la paroi, ce qui permet de réduire la perte, et aussi d'augmenter le débit escompté du puits.

Autrement dit, le débit devra, en fait, être contrôlé, lors de la mise en place du puits, par des essais de

pompage. Si l'amélioration de la structure du puits est réalisée efficacement, le rabattement de la nappe aquifère (pour le débit limite indiqué sur le schéma 3-3 pourra atteindre une valeur maximum de 15 m, ce qui permettra de porter le débit théorique, dans le cas d'un diamètre de 6", à 501 m³/jour. Il conviendra, naturellement, de corriger ce débit théorique d'une perte approximative de 10%. Dans ce cas, le débit escompté du puits s'élèvera à 450 m³/jour, chiffre supérieur à celui précédemment envisagé (300 m³/jour).

L'évaluation du débit escompté du puits aura, par conséquent, une incidence directe sur la détermination du nombre de puits. De ce fait, le projet fondamental des installations de captage des eaux se fonde sur l'hypothèse que, dans l'état actuel, le débit escompté du puits soit de 300 m³/jour, compte tenu des normes de sécurité à respecter.

5-2-2 DIAMETRES DES PUIITS

Le tableau 5-2 indique que même si le diamètre du puits devient plus important, le débit n'augmente pas notablement, tandis que la perte diminue. Un diamètre relativement gros est, en conséquence, souhaitable.

Le diamètre optimal de 6" a été déterminé en fonction des 4 éléments suivants:

- Le débit qui sera nécessairement de 300 m³/jour à 450 m³/jour, compte tenu du rabattement de la nappe aquifère.
- La vitesse de l'eau souterraine entrant dans la crépine de 1,5 à 2,2 mm/sec, dans le cas d'un diamètre extérieur de la crépine de 6", d'une longueur de crépine de 50 m et d'un pourcentage d'ouverture de la crépine de 10%.
Il convient de rappeler, en outre, qu'en cas d'utilisation d'une crépine d'un diamètre extérieur de 6", il n'y aura pas d'entraînement de sables fins, une vitesse limite d'entraînement des grains de $\phi 0,1$ à 0,25 mm étant de 9,5 à 27,0 mm/sec.
- La capacité d'une pompe à moteur immergée: dans ce cas, le diamètre extérieur de la crépine devra être supérieur à 6". Toutefois, étant donné que la hauteur d'élévation de la pompe ordinaire immergée d'un diamètre de 6" est de 70 m environ et que, par ailleurs, le débit de ladite pompe est de 350 l/min environ (soit presque 500 m³/jour), le diamètre de 6" suffit à condition que le débit se situe dans les limites stipulées ci-dessus:
- Enfin, la capacité des foreuses. A ce propos, il convient de rappeler que les foreuses actuellement disponibles au Niger possèdent une capacité suffisante pour la réalisation de puits d'un diamètre de 6", à une profondeur de 230 à 300 m.

En conclusion, le diamètre de 6" pour les puits d'alimentation en eau constitue la solution optimale.

5-2-3 INTERVALLES ENTRE LES PUIITS

La détermination des intervalles entre les puits joue un rôle très important pour l'exploitation des eaux souterraines. Si on dispose des puits de manière à éliminer les influences réciproques dues au pompage, le coût des installations sera considérablement augmenté, compromettant ainsi la rentabilité du projet. Il sera donc nécessaire de prendre en compte non seulement les données hydrologiques mais aussi l'incidence des coûts pour la détermination des intervalles entre les puits. Si l'on considère, en priorité, l'incidence des coûts, il conviendra d'effectuer le pompage en disposant les puits avoisinants dans une zone soumise aux interférences réciproques.

La relation entre les intervalles des puits et les rabattements de nappe aquifère pour un débit escompté de $300 \text{ m}^3/\text{jour}$ (diamètre du puits de 6") est indiquée dans le tableau 5-3.

Tableau 5-3 Relation entre les intervalles des puits et les rabattements de la nappe aquifère (Emplacement WP-3, débit de $300 \text{ m}^3/\text{jour}$)

durée de pompage	intervalles des puits	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
30 jour	rabattement de la nappe aquifère (en m)	2,1	1,5	1,1	0,9	0,5	0,3	0,2
1 an	rabattement de la nappe aquifère (en m)	3,2	2,7	2,2	1,9	1,5	1,3	1,1
10 ans	rabattement de la nappe aquifère (en m)	4,2	3,6	3,2	3,0	2,7	2,3	2,1
20 ans	rabattement de la nappe aquifère (en m)	4,6	3,9	3,6	3,3	2,9	2,7	2,5

Lorsque le rabattement de la nappe aquifère d'un puits voisin correspond à 10% maximum de celui du puits de pompage pour une durée de 30 jours (diamètre du puits de 6", débit de $300 \text{ m}^3/\text{jour}$, l'entervalle entre les puits est de 2 000 m.

5-2-4 RABATTEMENT DE LA NAPPE AQUIFERE

Considérant les deux cas suivants: pour un débit de $300 \text{ m}^3/\text{jour}$ et celui de $45 \text{ m}^3/\text{jour}$ (diamètre des puits de 6"), on a calculé les rabattements respectifs de nappe aquifère pour une durée de 30 jours, un an, 10 ans et 20 ans après le début du pompage. Ce résultat est indiqué sur le schéma 5-1.

On va considérer ci-après le rabattement dans le cas où des puits sont groupés. Le rabattement de la nappe aquifère en un point quelconque de la zone soumise à l'influence du pompage de plusieurs puits est égale à la somme des rabattements de la nappe aquifère provoqués respectivement par le pompage de chaque puits, ce qui est obtenu par la formule suivante:

$$S_T = S_a + S_b + S_c + \dots + S_n$$

où: S_T : rabattement de la nappe aquifère en un point quelconque

$S_a, S_b, S_c, \dots, S_n$: rabattements de la nappe aquifère respectivement provoqués par les puits de pompage a, b, c, \dots, n

Si le débit par puits est de $300 \text{ m}^3/\text{jour}$, il est nécessaire de prévoir 14 puits, puisque le débit nécessaire pour une journée est de $4\,000 \text{ m}^3$. Lorsque les puits sont mis en place à des intervalles de $2\,000 \text{ m}$ comme le montre le schéma 5-2, le rabattement de la nappe aquifère du puits N° 4 (ou N° 11), qui est le plus soumis à l'influence des rabattements des puits avoisinants, est indiqué dans le tableau 5-4.

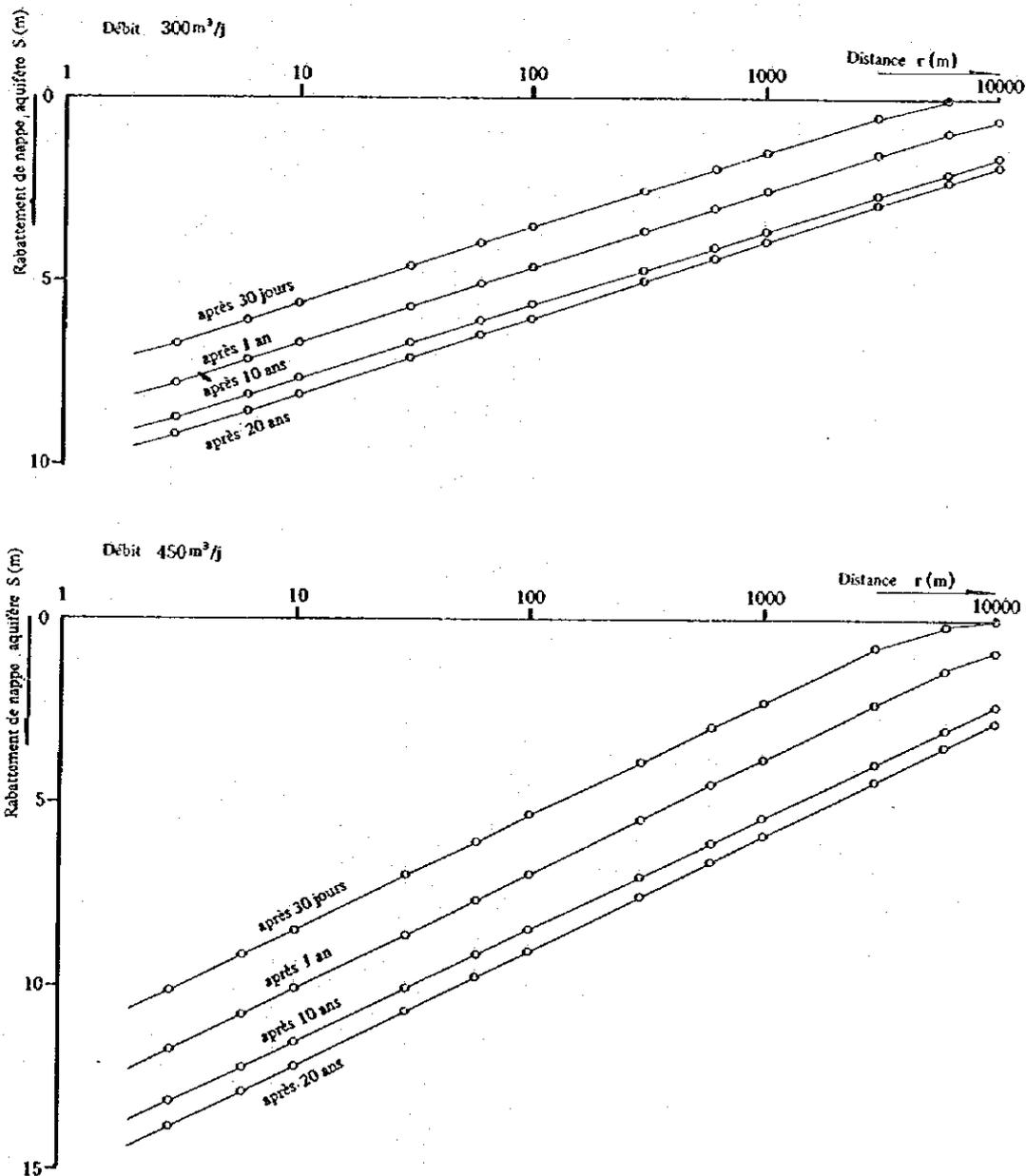


Schéma 5-1 Courbe de rabattement de la nappe aquifère en un point WP-3 (1^{ère} nappe aquifère)

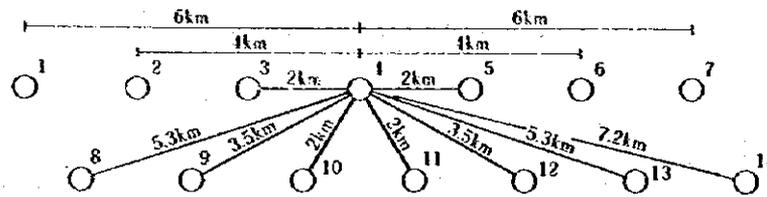


Schéma 5-2 Mise en place de 14 puits en Zig-zag
(Débit de $300 \text{ m}^3/\text{jour}$)

Tableau 5-4 Rabattement de la nappe aquifère du puits
N°4 du schéma 5-2 (débit de $300 \text{ m}^3/\text{jour}$)

Durée de pompage	30 jours	1 an	10 ans	20 ans
rabattement dû aux pompage des puits avoisinants	5.4	17.6	33.6	38.0
rabattement dû aux pompage du puits propre	10.8	11.1	12.2	12.5
Total	16.2	28.7	45.8	50.5

Lorsque le débit par puits est de $450 \text{ m}^3/\text{jour}$, le nombre de puits est de 9. Le rabattement de la nappe aquifère du puits N°3, qui est le plus soumis à l'influence des puits avoisinants est indiqué dans le tableau 5-5.

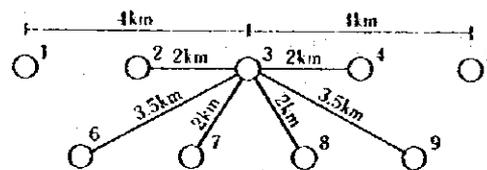


Schéma 5-3 Disposition de 9 puits en zig-zag (débit de $450 \text{ m}^3/\text{jour}$)

Tableau 5-5 Rabattement de la nappe aquifère du puits N°3 du schéma 5-3
(débit de $450 \text{ m}^3/\text{jour}$)

Durée de pompage	30 jours	1 an	10 ans	20 ans
rabattement dû aux pompage des puits avoisinants	7.8	19.8	32.8	36.6
rabattement dû aux pompage du puits propre	16.2	16.7	18.3	18.8
Total	24.0	36.5	51.1	55.4

Les valeurs indiquées dans les tableaux 5-4 et 5-5 sont obtenues par la formule théorique. Il est possible que les rabattements réels soient plus importants que ceux calculés théoriquement. Il sera donc nécessaire de réduire le débit aux emplacements où le rabattement présente une valeur supérieure à celle de la hauteur d'élévation d'une pompe immergée. D'après les résultats des calculs, on admet qu'il n'y a aucun problème lorsque le débit est de 300 à 450 m³/jour. Il serait cependant souhaitable que le débit par puits d'alimentation en eau ne soit pas surestimé pour que, dans la mesure du possible, le rabattement de la nappe aquifère dû aux interférences réciproques des puits avoisinants soit réduit.

5-2-5 STRUCTURE DES PUIITS

Dans l'hypothèse d'un diamètre de puits de 6", la structure typique du puits d'alimentation en eau du côté Sud du dôme est indiquée sur le schéma 5-4.

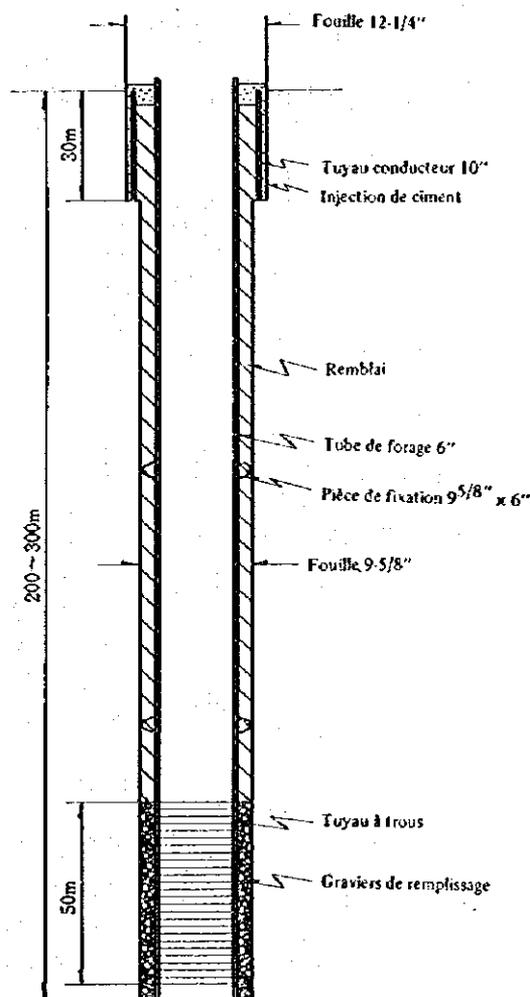


Schéma 5-4 Structure du puits d'alimentation en eau

Pour que le puits permette la prise de l'eau dans la nappe aquifère, il sera nécessaire de prévoir une crépine adéquate, de prévoir autour de celle-ci une zone constituée de graviers naturels et artificiels, et d'éliminer entièrement les boues attachées à la paroi brute du forage au cours de l'exécution de la fouille.

Crépine

La crépine présente des fentes. Celles-ci doivent avoir un diamètre adéquat pour permettre l'élimination des boues de forage et pour éviter l'entrée des sables avec l'eau dans le puits. Le pourcentage d'ouverture de la crépine doit être supérieur à 10%, afin d'augmenter le rendement du puits. En outre, dans le cas où la prise d'eau s'effectue dans des couches conglomératiques sableuses ou dans des couches sableuses, il y a lieu d'élever le pourcentage d'ouverture, afin de réduire autant que possible la vitesse de l'eau souterraine qui entre dans la crépine, et d'éviter tout entraînement des sables fins.

Par ailleurs, ainsi qu'il a été précisé au chapitre 5-2-2, même si le diamètre extérieur de la crépine est de 6", la longueur de celle-ci de 50 m, et le débit de 450 m³/jour, la vitesse de courant d'eau souterraine est inférieure à la vitesse limite de l'entraînement des sables fins, à condition que le pourcentage d'ouverture soit de 10.

Remplissage de graviers

Les graviers artificiels de filtration sont appelés graviers de remplissage. Si les graviers de remplissage possèdent un diamètre adéquat, ils permettent:

- d'une part, d'obtenir un débit plus important à partir de la nappe aquifère contenant peu de grains fins, étant donné que le diamètre du puits devient pratiquement plus grand,
- d'autre part, de protéger contre l'entraînement des sables en provenance de la nappe aquifère contenant une quantité considérable de grains fins,
- enfin, de réduire substantiellement les coûts, étant donné que ces graviers présentent les mêmes avantages qu'une crépine de grand diamètre.

Il va de soi que la taille des graviers de remplissage est déterminée par le type de crépine. Dans le cas d'utilisation d'une crépine à fil métallique, des graviers arrondis de diamètre légèrement plus grand que la longueur des fentes devront être utilisés. En général, des graviers de diamètre de 3 à 5 mm sont très souvent utilisés. Il sera souhaitable que l'espace annulaire entre la crépine et la paroi de forage soit de 50 mm au moins; en outre, il faudra mettre en place des éléments de fixation à l'extérieur de la crépine afin que celle-ci puisse

se trouver dans l'axe du puits.

Par ailleurs, pour éviter que l'eau polluée en provenance de la partie supérieure de la couche de prise d'eau monte par le vide situé entre le tube de forage et la paroi de forage, il faudra prévoir, à la partie supérieure des graviers de remplissage, un traitement d'étanchéité avec une laitance de ciment, d'argile brute et de boue.

En outre, la crépine à graviers possède 2 fonctions, à savoir:

- tamissage des graviers
- Opération de remplissage des graviers.

L'utilisation de ce tamis est garante de la bonne exécution du travail.

Enfin, la pompe immergée devra être installée à une profondeur de 60 m minimum au-dessous du niveau initial de la nappe aquifère, en tenant compte du rabattement d'eau dû aux interférences réciproques entre les puits.

5-3 ALIGNEMENT ET PROFONDEUR DES PUIITS

5-3-1 ALIGNEMENT

A la suite des résultats des essais de pompage par paliers, et dans le cas d'un débit par puits de 300 m³/jour, un pompage et un écoulement stables pourront être assurés dans des conditions optimales.

Pour assurer un débit journalier d'environ 4 000 m³, 14 puits seront donc nécessaires. Signalons par ailleurs que le puits de pompage TW-3 peut servir de puits d'alimentation ou de puits d'appoint supplémentant les puits restants.

Ces puits seront disposés en zig-zag, comme l'indique le schéma 5-5, à une distance de 1,5 km de la faille principale d'Azélik. Puisque le débit nécessaire augmente au fur et à mesure de l'exploitation, l'installation des puits sera faite en fonction des phases de l'exploitation. Cependant, nous suggérons de suivre le rythme d'exécution ci-dessous:

- 1^{ère} phase: 7 puits d'alimentation (W-1, 2, 3, 4, 8, 9, et 10)
- 2^{ème} phase: 7 puits d'alimentation (W-5, 6, 7, 11, 12, 13 et 14)

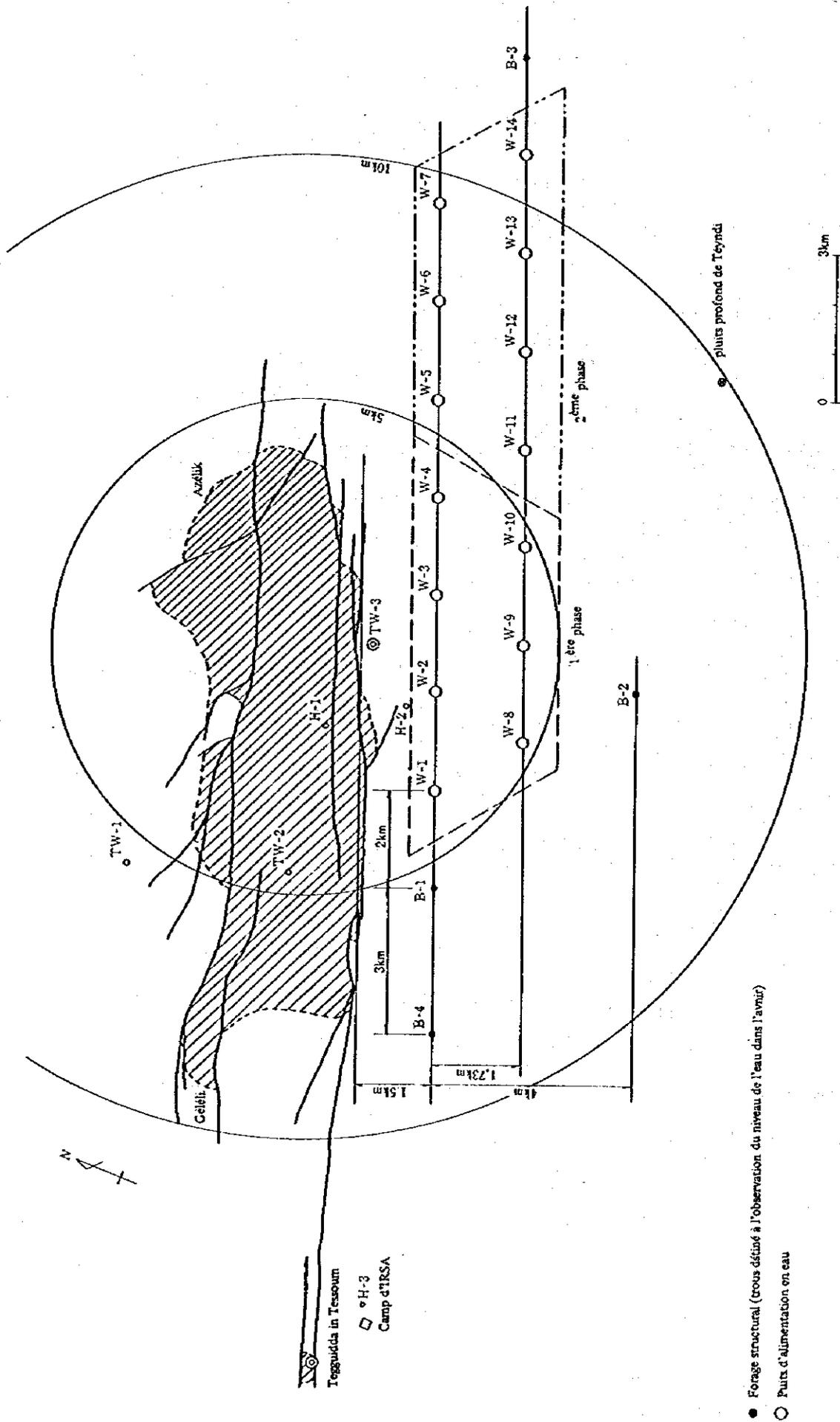


Schéma 5-5 Phases d'installation des puits

- Forage structural (trous destiné à l'observation du niveau de l'eau dans l'avenir)
- Puits d'alimentation en eau

5-3-2 PROFONDEUR DES PUIITS

La profondeur des puits sera déterminée d'après les résultats de sondages structuraux destinés au projet d'exécution; mais, actuellement, on peut la fixer approximativement de 200 à 300 m, c'est à dire jusqu'au fond de la couche de Téloua. Ces chiffres sont justifiés pour les raisons suivantes:

- au puits TW-3, la surface de la nappe aquifère est située à 150 m de profondeur; l'épaisseur de la nappe est de 50 m environ.
- au puits FAGO 118 à Tényndi, la surface de la nappe aquifère est située à 170 m de profondeur, et le fond du puits, situé à une profondeur de 240 m, se trouve encore dans le groupe d'Agadès.
- En allant vers le Sud-Est du puits TW-3, la profondeur de la surface de la nappe aquifère augmente, tandis qu'elle diminue peu à peu aux environs de Tényndi. Il est possible que l'épaisseur augmente graduellement en allant dans les directions Est et Sud-Est.

5-4 PROJET DES INSTALLATIONS DE CAPTAGE DES EAUX

5-4-1 GENERALITES

Ce projet est destiné à l'alimentation en eau pour usage industriel de l'usine de raffinage et pour les usages ménagers de la ville minière et de ses environs. Il comprend les phases suivantes:

- (1) Matériel pour puits
- (2) Matériel pour tuyaux de distribution
- (3) Matériel pour réservoirs d'eau

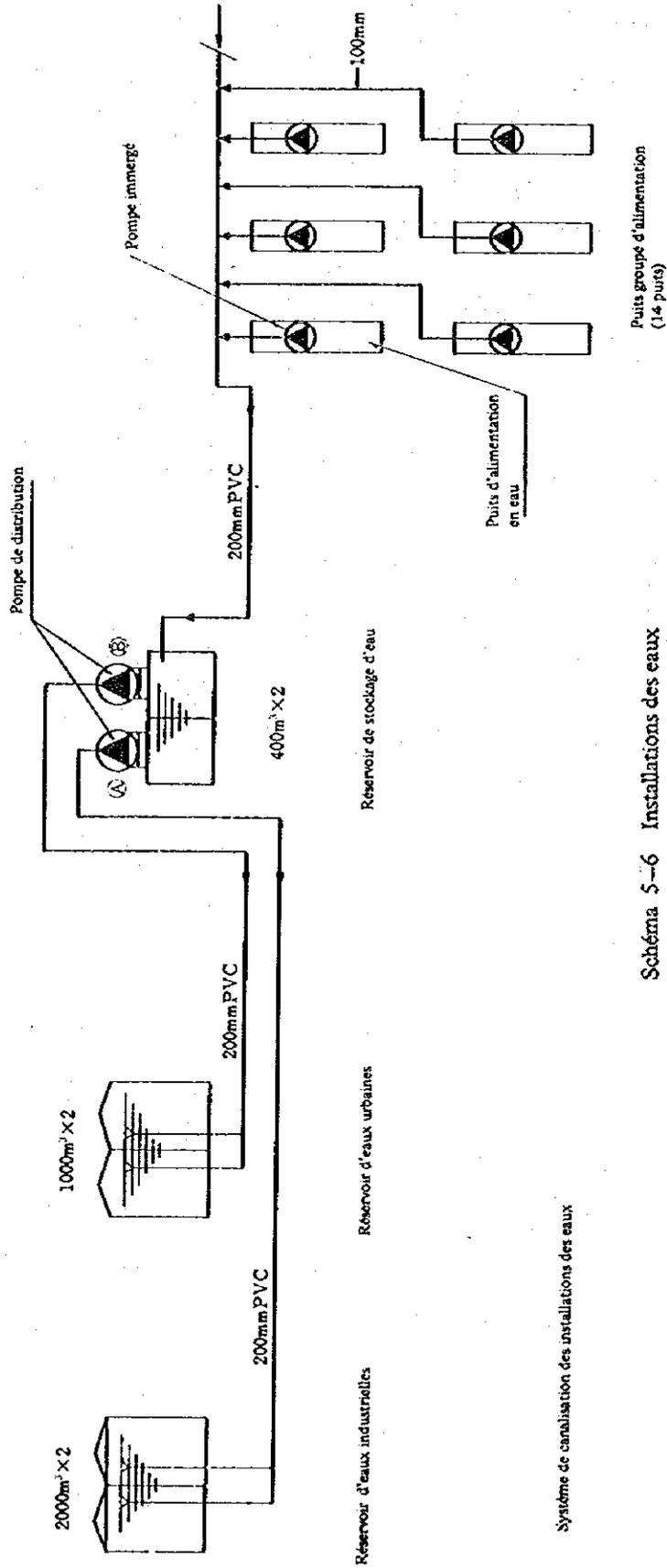
Le schéma 5-6 indique les caractéristiques des installations de captage et du système d'alimentation.

5-4-2 PLAN GENERAL D'AMENAGEMENT

L'usine de raffinage et la zone urbaine seront situées au milieu sur la partie relativement élevée du dôme. En revanche, l'emplacement prévu pour le captage de l'eau se situe au Sud-Est, dans la partie un peu basse entourant le puits TW-3. Par conséquent, l'eau douce venant de chaque puits sera temporairement stockée dans les réservoirs d'eau. La distribution d'eau jusqu'aux réservoirs d'usine de raffinage et urbains s'effectuera à l'aide d'une pompe à pression.

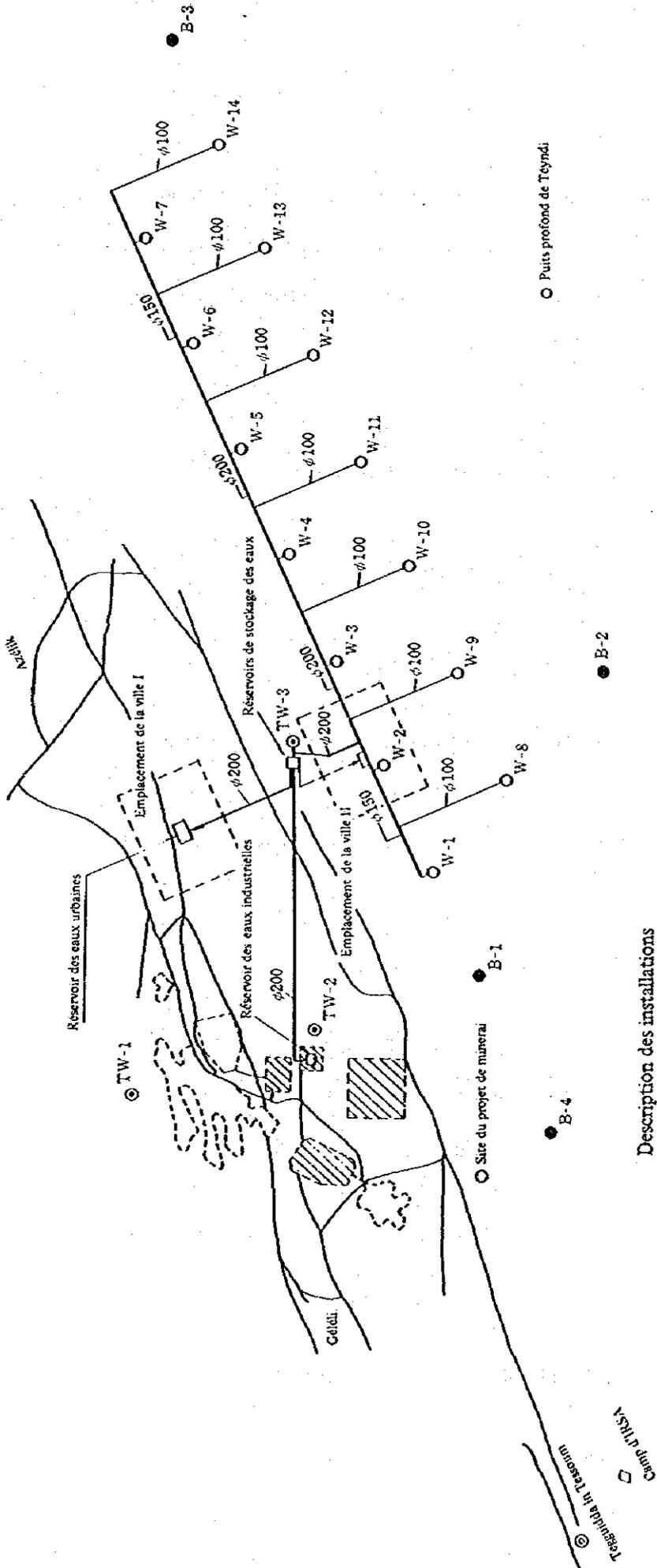
Le système de canalisation et les caractéristiques générales des installations de captage figurent au schéma 5-7.

Caractéristiques générales	
Désignations	
Matériel pour puits	14 puits d'alimentation: 150mm 230m ~ 300m 300m ³ /jour × 14 = 4200m ³ /jour Pompes immergées: 80 φ × 208ℓ/min × 70m × 11kW × 14 Génératrices 30kVA × 14
Matériel pour tuyaux de distribution	Tuyau en PVC 200 ^ø × 9.2km, 150 ^ø × 14km, 100 ^ø × 13.3km Pompe de distribution ⑧ 150 ^ø × 1.83m ³ /min × 60m × 30kW × 3 Pompe de distribution ⑨ 150 ^ø × 1.25m ³ /min × 30m × 19kW × 3
Matériel pour réservoirs d'eau	Réservoir d'eau: 400m ³ × 2 Réservoir d'eau: 2000m ³ × 2 Réservoir d'eau: 1000m ³ × 2 Industrielles urbaines



Système de canalisation des installations des eaux

Schéma S-6 Installations des eaux



Description des installations

	Quantité d'eau nécessaire	Estimation de la capacité des réservoirs	Diamètre du tuyau de distribution	Longueur totale des tuyaux de distribution
Usine de raffinage	2 200 m ³ /j	4 000 m ³	200 mm	6,0 km
Installations urbaines	1 800	2 000	200	2,5
Installations de stockage des eaux	—	800	100 ~ 200	28,0
total	4 000	6 800	—	36,5

Signes	Désignations
○	Puits d'alimentation W1 ~ W14
●	Trou destiné à l'observation du niveau de l'eau

Schéma S-7 Système de canalisation: Alimentation en eau et capacités générales

5-4-3 MATERIEL POUR PUIITS

(1) Structure des puits d'alimentation

Les puits d'alimentation seront de type profond d'un diamètre de 150 mm. 14 puits de 300 m³/jour chacun, seront installés pour délivrer la quantité nécessaire en eau, soit 4 000 m³/jour (eau industrielle: 2 200 m³/jour, eau urbaine: 1 800 m³/jour). Le tableau 5-6 indique les caractéristiques des puits d'alimentation. Le schéma 5-8 indique la structure générale des puits.

Tableau 5-6 Caractéristiques des puits d'alimentation

Diamètre des puits	Débit de pompage	Profondeur des puits	Nombre de puits
150 mm	208 l/min	230 à 300 m	14

(2) Pompe immergée

Si l'on fixe à 50 m le niveau minimum de pompage, et à 20 m la perte par friction des vannes et des coudes des tuyaux, la hauteur d'élévation sera de 70 m. Si le débit en fonctionnement continu est fixé à 208 l/m (300 m³/jour), les caractéristiques de la pompe seront les suivantes (Tableau 5-7).

Tableau 5-7 Caractéristiques de la pompe

Diamètre	Débit de pompage	Hauteur d'élévation	Capacité	Nombre de puits
65 mm	208 l/min	70 m	11 kW	14

(3) Génératrices

Les pompes seront alimentées en électricité par de petites génératrices installées près de chaque puits.

Tableau 5-8 Caractéristiques des génératrices

Capacité	30 kVA	14 génératrices	Type extérieur
----------	--------	-----------------	----------------

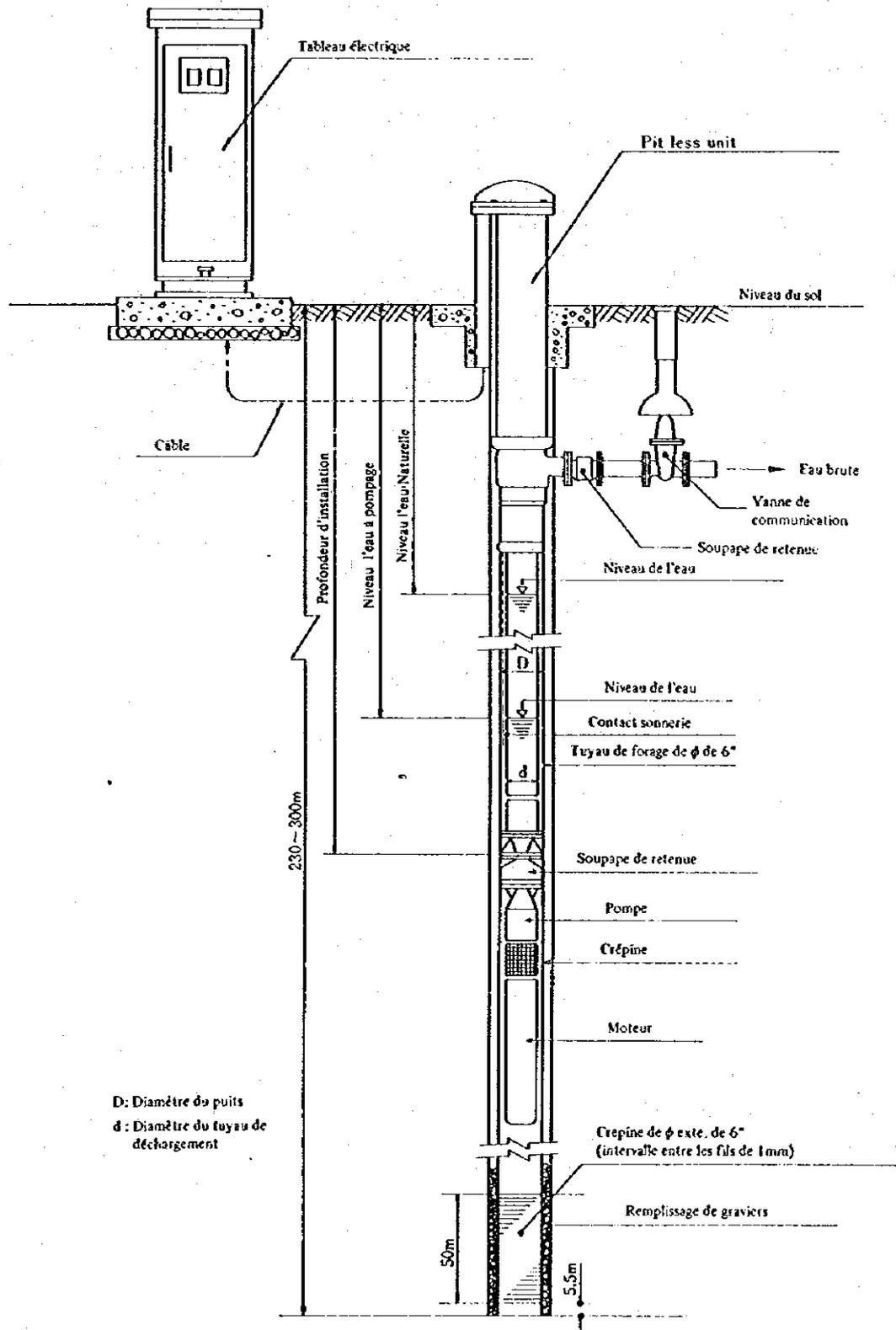


Schéma 5-8 Structure des puits d'alimentation en eau

5-4-4 MATERIEL POUR TUYAUX DE DISTRIBUTION

(1) Tuyauterie

Les eaux industrielles ($2\,200\text{ m}^3/\text{jour}$) et les eaux urbaines seront envoyées à partir des réservoirs d'eau grâce à des pompes à pression ne faisant pas partie du même système, comme l'indique le schéma 5-9.

La pression initiale d'envoi de l'eau à l'extrémité de la pompe est comprise entre 1 et 2 kg/cm^2 , et la distribution s'effectue grâce à un réseau de tuyaux enterrés.

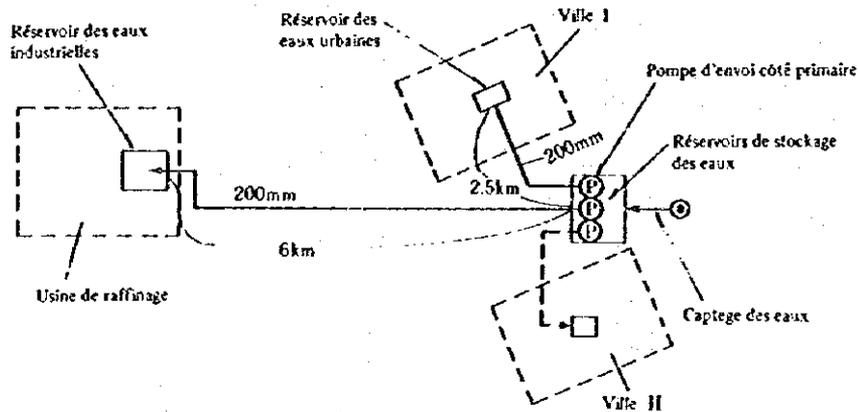


Schéma 5-9 Système de canalisation

Tableau 5-9 Spécifications des pompes à pression

	diamètre	Debit	Hauteur d'élevation	Capacité	Nombre de pompes
Eaux industrielles	150mm	$1.83\text{m}^3/\text{min}$	60m	30kW	3
Eaux urbaines	150mm	$1.25\text{m}^3/\text{min}$	30m	19kW	3

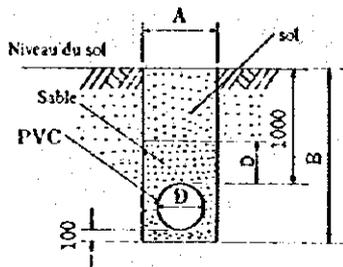
(3) Tuyaux

Les tuyaux de distribution seront des tuyaux en PVC (tuyaux de conduite en chlorure de polyvinyl destiné à l'eau potable). Les matériaux utilisés seront fonction des critères suivantes: inoxydabilité, durabilité, maniabilité aisée et peu coûteux. Pour remédier aux points faibles des tuyaux en PVC (faible résistance aux chocs et à la chaleur), on les protégera en les enterrant.

Les caractéristiques générales des tuyaux de distribution principaux sont indiquées au tableau 5-10.

Tableau 5-10 Caractéristiques des tuyaux de distribution

	Diamètre (ϕ mm)	Débit max. (m^3/min)	Vitesse (m/s)	Longueur totale des tuyaux (km)
Eaux industrielles	200	1,83	1,0	6,0
Eaux urbaines	200	2,5	1,3	2,5
Tuyaux principaux	100 à 200	2,8	1,4	28,0



Diamètre (mm)	A (mm)	B (mm)
100	600	1 300
150	600	1 400
200	700	1 500

Schéma 5-10 Méthode d'enterrage des tuyaux de distribution

5-4-5 MATERIEL POUR RESERVOIRS DE STOCKAGE DES EAUX

(1) Réservoirs de stockage

Ces réservoirs sont destinés à stocker l'eau douce qui sera pompée de chaque puits à l'aide d'une pompe immergée et acheminée, ensuite, par un tuyau de collecteur. Les caractéristiques générale des réservoirs de stockage sont indiqués au tableau 5-11.

Tableau 5-11 Caractéristiques générales des réservoirs de stockage

	Capacité de chaque réservoir (m ³)	Nombre	Capacité totale de stockage(m ³)	Remarques
Réservoirs de stockage	400	2	800	La capacité est de 20% de la totalité de la quantité nécessaire prévue. La structure sera en acier ou en béton armé.
Réservoir d'eaux industrielles	2 000	2	4 000	La capacité est suffisante pour 2 jours d'alimentation en eau industrielle. La structure sera en acier ou en béton armé.
Réservoir d'eaux urbaines	1 000	2	2 000	La capacité est suffisante pour un jour d'alimentation en eau urbaine. La structure sera en acier ou en béton armé.

5-5 ESTIMATION DES COÛTS ET DELAIS DE CONSTRUCTION

5-5-1 ESTIMATION DES COÛTS

Le coût total des installations s'élève approximativement à 2 200 millions FCFA, comme l'indique le tableau

5-12 suivant:

Tableau 5-12

	Montant (x 10 ⁶ FCFA)	Taux (en %)	Remarques
Coût d'installation des puits	924	43	Nombre de puits 14 Débit 4 000 m ³ /j
Coût d'installation de la tuyauterie d'alimentation en eau	629	29	en PVC 100φ à 200φ 36,5 km
Coût d'installation des réservoirs d'eau	625	28	2 000 m ³ x 2, 1 000 m ³ x 2 400 m ³ x 2
Total	2 178	100	

5-5-2 DELAIS DE CONSTRUCTION

Etant donné que l'exécution simultanée des travaux de la construction de 14 puits d'alimentation projetée s'avère coûteuse, la construction sera entreprise progressivement selon les conditions actuelles, à savoir l'accroissement de la demande en eau et le volume de puisage. Suite au présent rapport, les travaux de la construction seront effectués en deux phases indiquées comme suit:

(1) Installation des puits

On estime qu'au début de l'exploitation, la demande en eau principalement destinée à l'usine de raffinage et celle de la ville ainsi que de son agglomération, augmentera en fonction de la production en uranium. Par conséquent, il est prévu, pendant la première phase de la construction, de réaliser 7 puits d'alimentation (2 100 m³/jour).

(2) Installation des réservoirs d'eau

La première phase des travaux prévus comprendra les installations de réservoirs d'eau de la source (800 m³) et ceux d'eau industrielle (4 000 m³), étant donné que les dites installations seront nécessaires dès le début de la mise en marche de l'usine de raffinage. Le réservoir d'eau pour la ville sera réalisé progressivement, suite à l'estimation de la demande en eau. Pendant la première phase de la construction, la réalisation d'un réservoir de 1 000 m³ sera donc projetée.

(3) Installation de la tuyauterie de distribution d'eau

L'exécution progressive de l'ensemble des travaux de la tuyauterie de distribution d'eau est prévue pendant la première phase de la construction, compte tenu des facteurs techniques et financiers.

Le tableau 5-13 indique les délais de construction

Tableau 5-13

	première année		2 ^{ème} année	
	6	12	18	24
Installation des puits	(9)		(9)	
Installation des réservoirs d'eau			(12)	(6)
Installation de la tuyauterie de distribution d'eau			(18)	

 période de la 1^{ère} phase  période de la 2^{ème} phase

(Les chiffres entre () indiquent les délais en mois.)

CHAPITRE 6. PROPOSITION DE LA REALISATION DU PROJET ET DE L'ENTRETIEN DES PUIITS

L'objectif du projet relatif aux installations de captage des eaux ayant été clairement établi à la suite des études actuelles, il n'en reste pas moins que les données présentement acquises ne suffisent pas à assurer une base permettant de mener à bien l'exécution concrète du projet. Il sera donc nécessaire de coordonner les études effectuées avant l'installation prévue des puits d'alimentation et les recherches relatives au projet global portant sur les essais de pompage nécessités par l'installation des puits en question. Enfin, il sera impératif d'effectuer l'entretien des puits et des eaux souterraines pendant la période de captage des eaux, afin d'assurer la stabilité à long terme des eaux souterraines.

6-1 RECHERCHES PREVUES POUR L'INSTALLATION DES PUIITS D'ALIMENTATION

A propos des nappes aquifères du Sud du dôme, les résultats du présent rapport sont insuffisants sur un certain nombre de points. Il est donc nécessaire de vérifier toutes les données relatives à la première nappe aquifère, en particulier dans la région à l'Ouest du dôme. Etant donné qu'en ce qui concerne les zones à l'Est et au Sud du dôme, l'épaisseur de la nappe aquifère diminue à la suite de l'enfoncement du groupd d'Irhazèr et qu'une possibilité de discontinuité de la nappe aquifère existe à cause de la présence de failles, il convient de procéder aux recherches au moyen de forages structuraux, en vue de chiffrer l'étendue, l'épaisseur et la qualité de la nappe aquifère correspondant à la couche de grès d'Agadès qui contient la couche de grès supérieure de Téloua (laquelle contient, entre autres, la couche de Chirezurin).

Le nombre de forages structuraux est de 4 et leurs emplacements sont indiqués au Schéma 5--5. Les forages seront effectués jusqu'au fond de la couche de Téloua, et un simple essai de pompage sera parallèlement effectué en vue de déterminer les données approximatives relatives au débit spécifique et aux constantes hydrologiques. Enfin, les trous des forages structuraux s'avèrent utiles, dès la mise en route des installations de captage des eaux, pour la mesure du niveau d'eau et la vérification de la qualité de l'eau.

6-2 ESSAIS DE POMPAGE AU COURS DE L'INSTALLATION DES PUIITS D'ALIMENTATION

Les constantes hydrologiques constituent les données de base pour le projet des installations de captage des eaux et ont été déterminées par les essais de pompage effectués pendant 3 jours. Il est donc nécessaire d'effectuer ces essais sur une longue période, en se servant des puits d'alimentation afin d'assurer l'efficacité

du contrôle et des vérifications requises.

Il conviendra également d'effectuer des essais de pompage portant sur les puits groupés, et de déterminer les diverses influences auxquels sont soumis les puits avoisinants, en prenant soin de chiffrer le débit de pompage et le rabattement de la nappe aquifère en ce qui concerne les puits groupés. Les essais de pompage pourront être effectués au cours du fonctionnement des puits d'alimentation.

6-3 ENTRETIEN DES PUIITS ET DE L'EAU SOUTERRAINE AU COURS DES OPERATIONS DE CAPTAGE

Il est particulièrement impératif d'assurer l'efficacité de l'entretien des installations de captage, en particulier des puits et de l'ensemble des bassins aquifères.

(1) Mesure du volume de l'eau souterraine, de la température et de la qualité de l'eau ainsi que du débit de pompage

Afin de détecter, dès le premier stade, tout abaissement de la capacité des puits et d'enrayer toute détérioration de la qualité de l'eau dûs aux pompages excessifs, il conviendra de faire porter les observations sur une longue période, en particulier à propos du niveau, de la température et de la qualité de l'eau ainsi que du débit de pompage;

(2) Système de réactivation des puits

En cas d'utilisation des puits pendant des années, étant donné que l'eau souterraine de la première nappe aquifère (située en WP-3) est riche en ions bicarbonatés, on observera une formation de carbonate de calcium et de carbonate de magnésium assortie d'un risque d'obstruction des fentes de la crépine.

Il convient de rappeler que l'abaissement du débit de pompage a diverses causes et que le vieillissement des puits est un phénomène inéluctable.

En conclusion, il s'avère indispensable de multiplier les précautions destinées à assurer la régénération des puits, de pratiquer les vérifications systématiques d'entretien du matériel et des pompes, et de veiller à la bonne exécution des opérations de nettoyage.

Annexe-Tableau 1 Résultats des essais de pompage par paliers

Emplacement	WP-1			WP-2			WP-3					
	2 ^{ème} nappe aquifère			2 ^{ème} nappe aquifère			1 ^{ère} nappe aquifère			2 ^{ème} nappe aquifère		
Puits de reconnaissance	TW-1*	OW1-1	OW1-2	TW-2*	OW2-1	OW2-2	TW-3*	OW3-1	OW3-2	TW-3	OW3-1*	OW3-2
1 ^{ère} phase A	50,3 l/min			25,2 l/min			79,8 l/min			30,6 l/min		
B	8,483	1,026	0,653	1,002	0,165	0,013	3,654	1,077	0,776	0,011	5,010	0,805
2 ^{ème} phase A	66,1 l/min			40,2 l/min			162,5 l/min			52,7 l/min		
B	14,26	2,036	1,482	1,472	0,305	0,104	9,117	1,824	1,164	0,045	7,865	0,950
3 ^{ème} phase A	95,0 l/min			75,1 l/min			252,7 l/min			78,2 l/min		
B	26,302	3,776	2,570	3,261	0,650	0,127	14,703	2,738	1,876	0,139	11,76	1,181
4 ^{ème} phase A	117,8 l/min			109,8 l/min			351,6 l/min			109,8 l/min		
B	36,574	5,499	3,561	5,567	1,040	0,147	24,268	4,096	2,904	0,288	17,135	1,054
5 ^{ème} phase A	152,8 l/min			139,0 l/min			452,5 l/min			139,0 l/min		
B	52,18	7,865	5,454	9,569	1,735	0,219	35,731	5,657	4,069	0,385	23,444	1,858
6 ^{ème} phase A	167,5 l/min			-			-			-		
B	54,429	9,357	6,842	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A; Débit

B; Rabattement de nappe aquifère exprimé en mètre

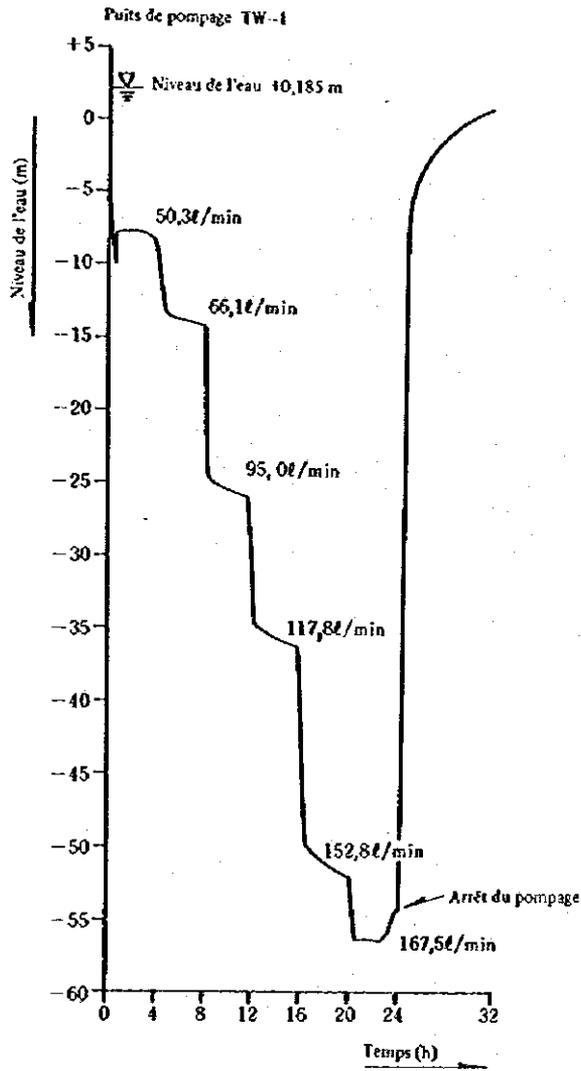
*; Puits de pompage

Annexe-Tableau 2 Résultats des essais de pompage continu (puits de pompage)

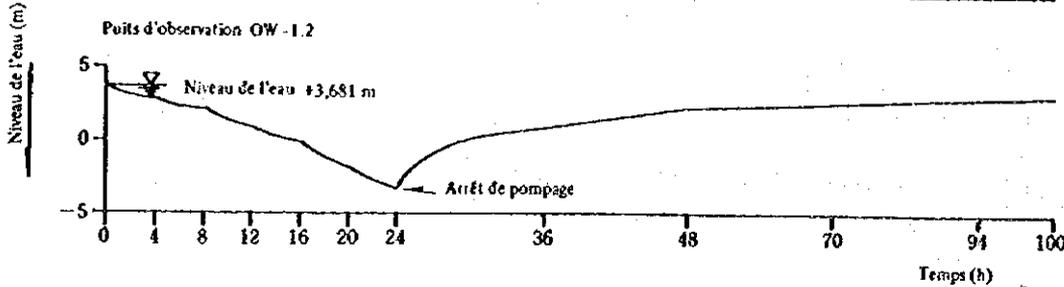
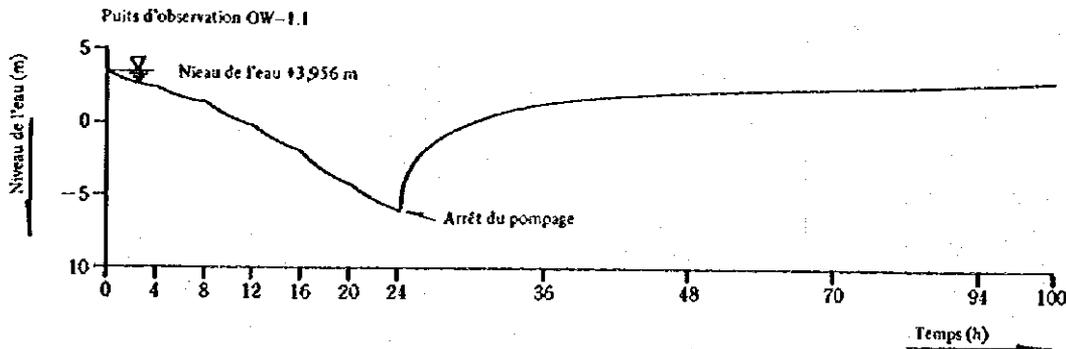
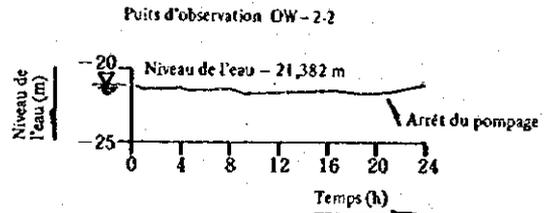
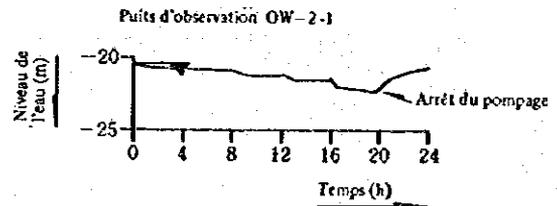
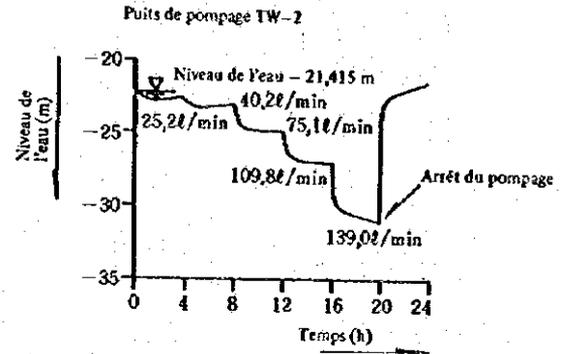
Emplacements	Nappe	Débit (l/min)	Niveau de l'eau avant l'essai *	Niveau de l'eau après pompage *	Débit spécifique	Remarques
WP-1	2 ^{ème} nappe aquifère	143,4	+0,185m	-53,956m	2,65 l/min/m	Puits de pompage TW-1, emploi d'une pompe de ϕ de 6"
			377,688	323,547		
WP-2	2 ^{ème} nappe aquifère	139,0	-21,545	-32,024	13,26 l/min/m	Puits de pompage TW-2, emploi d'une pompe de ϕ de 6"
			377,911	367,432		
WP-3	1 ^{ère} nappe aquifère	452,5	-11,415	-53,647	10,71 l/min/m	Puits de pompage TW-3, emploi d'une pompe de ϕ de 6"
			387,058	344,826		
	2 ^{ème} nappe aquifère	139,0	-6,450	-35,271	4,82 l/min/m	Puits de pompage OW3-1, emploi d'une pompe de ϕ de 4"
			391,647	362,853		

* Les chiffres dans les colonnes supé. sont les valeurs mesurées à partir de la surface du sol, tandis que ceux dans les colonnes infé. désignent les altitudes.

Emplacement WP-1

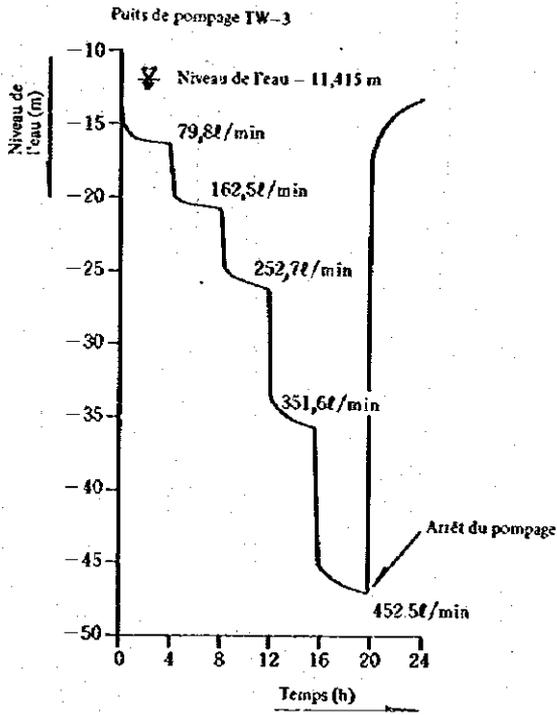


Emplacement WP-2

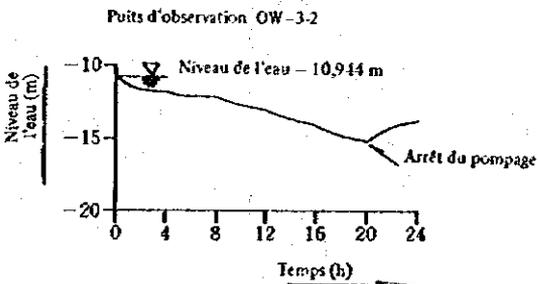
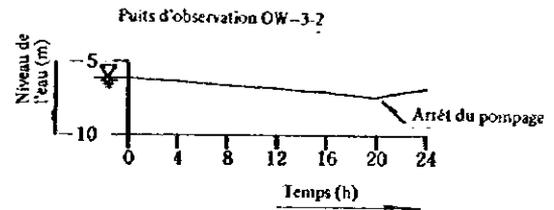
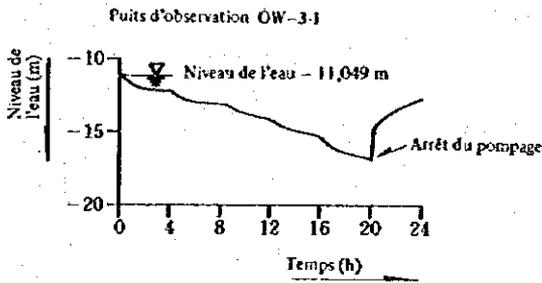
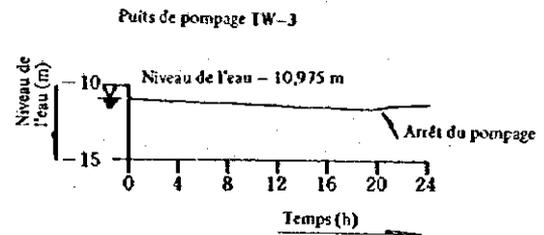
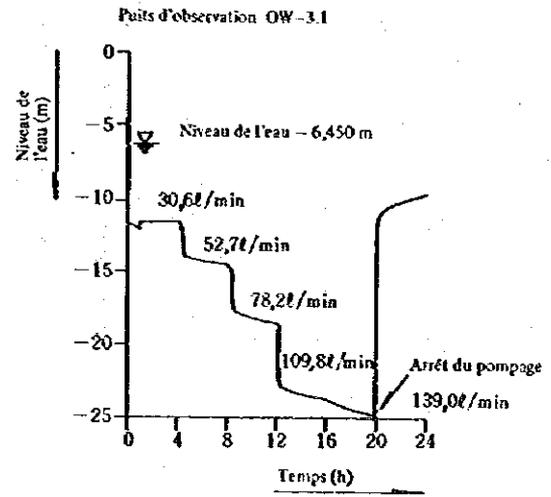


Annexe-Schéma 1 Variation du niveau de l'eau en ce qui concerne les essais de pompage par paliers (Emplacement WP-1, WP-2)

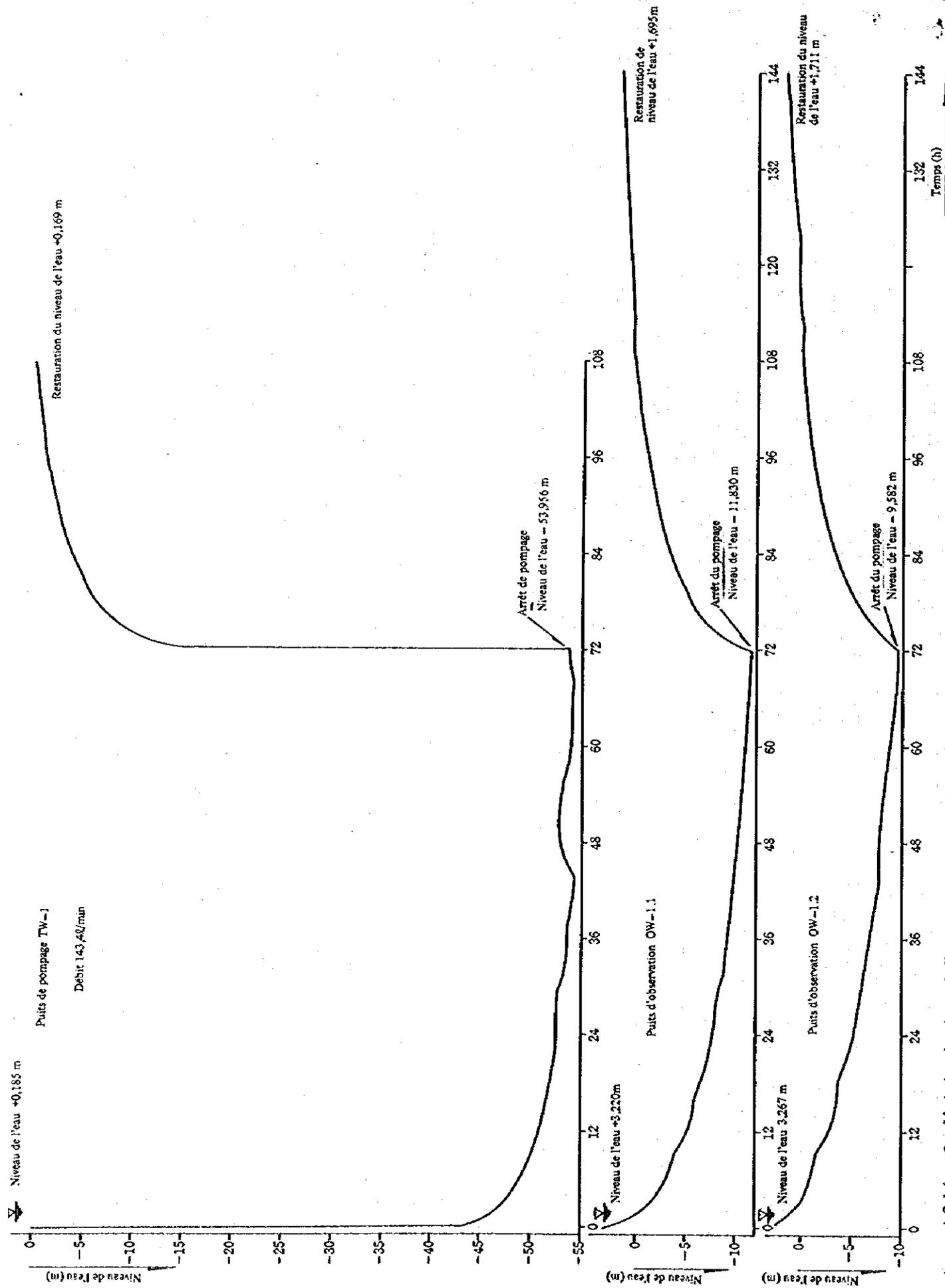
Emplacement WP-3 (1^{ère} nappe aquifère)



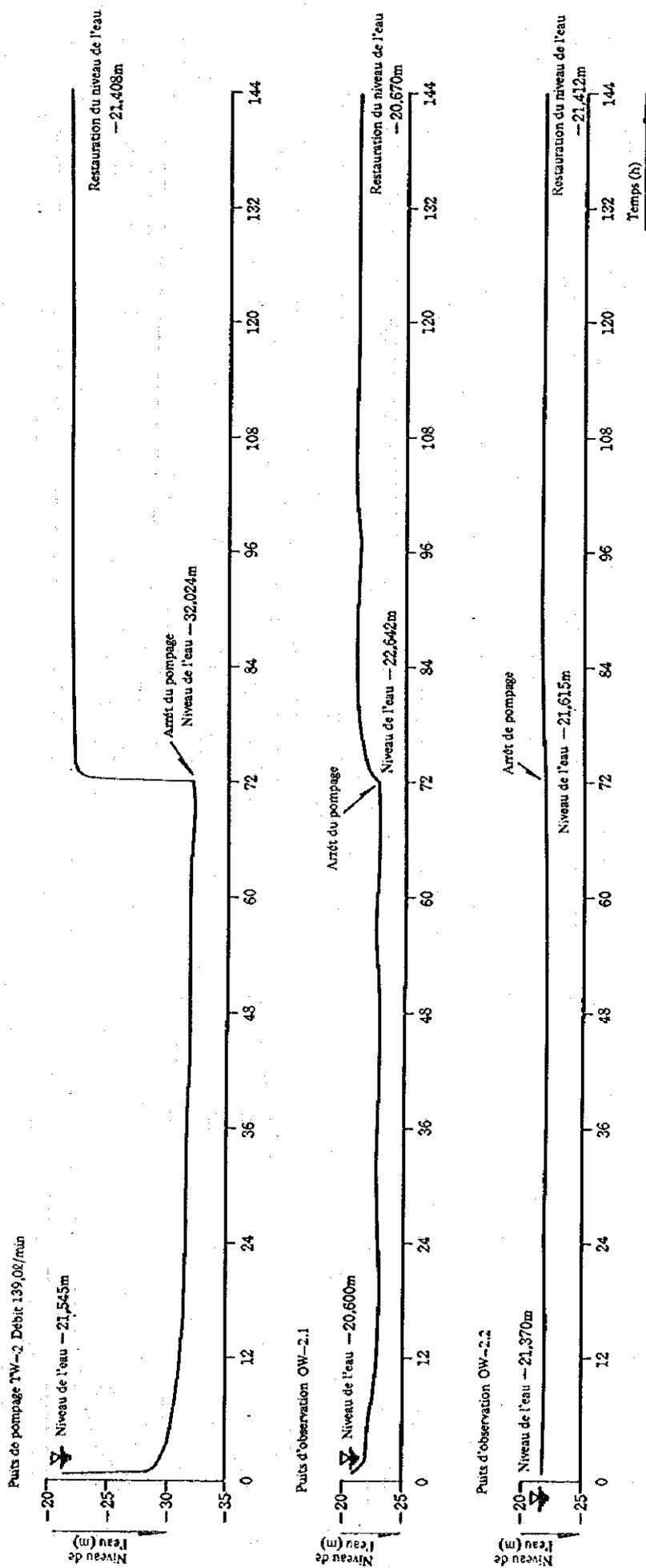
Emplacement WP-3 (2^{ème} nappe aquifère)



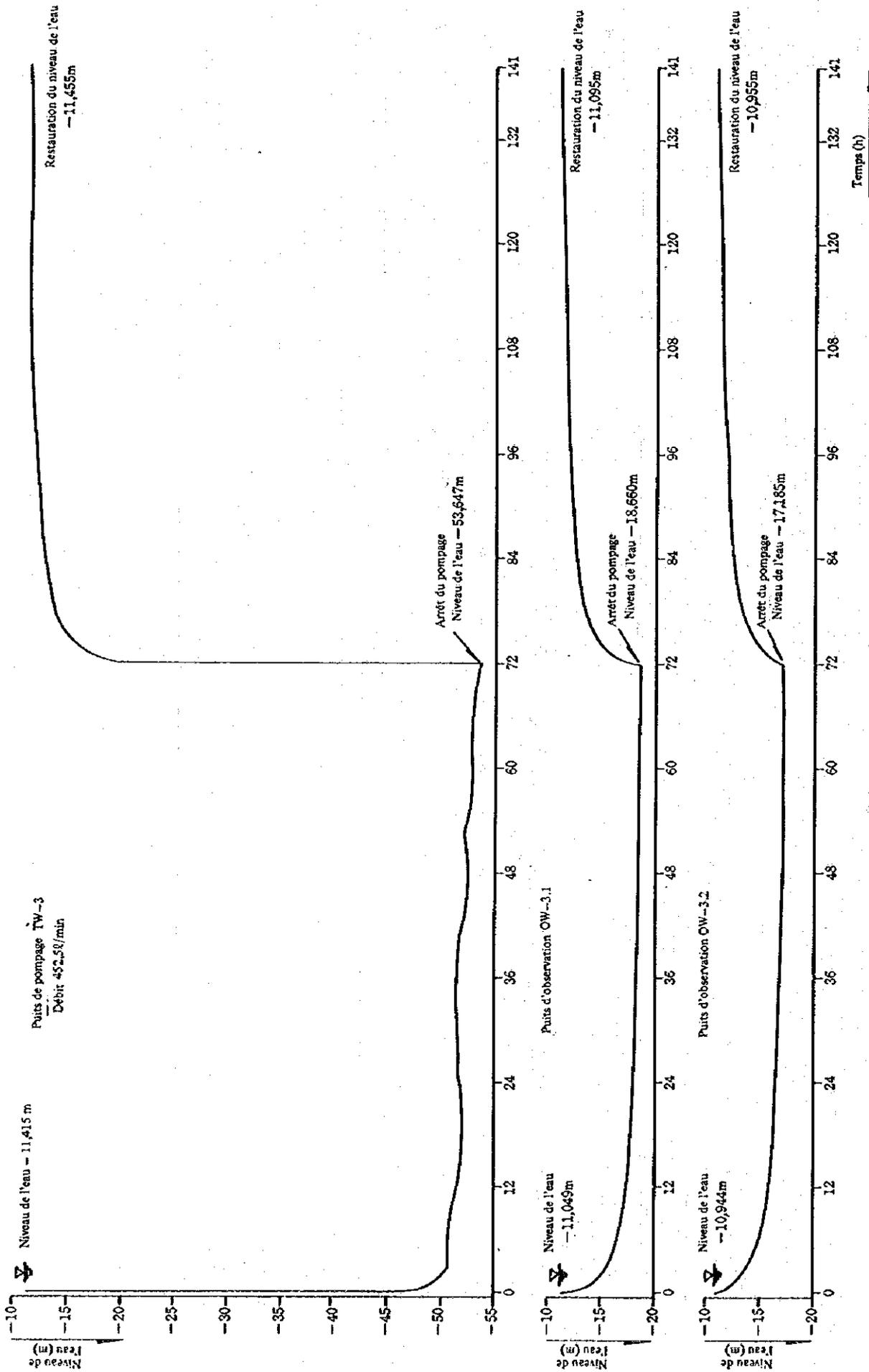
Annexe-Schéma 2 Variation du niveau de l'eau en ce qui concerne les essais de pompage par paliers (Emplacement WP-3)



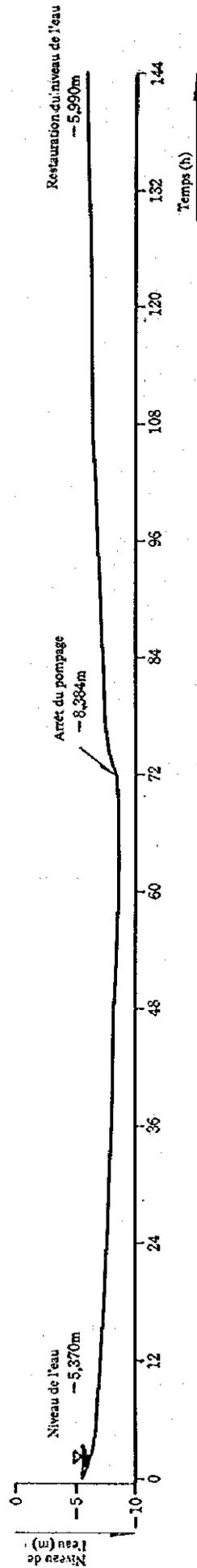
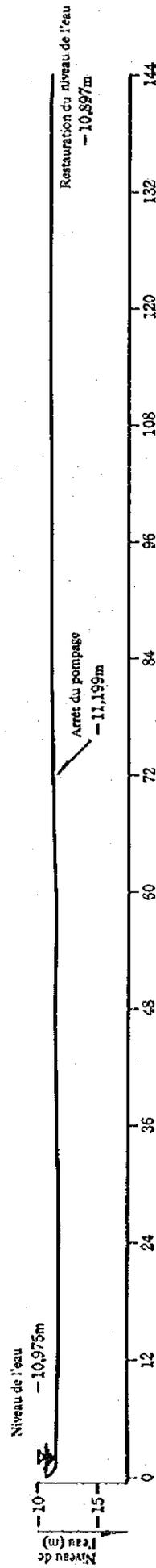
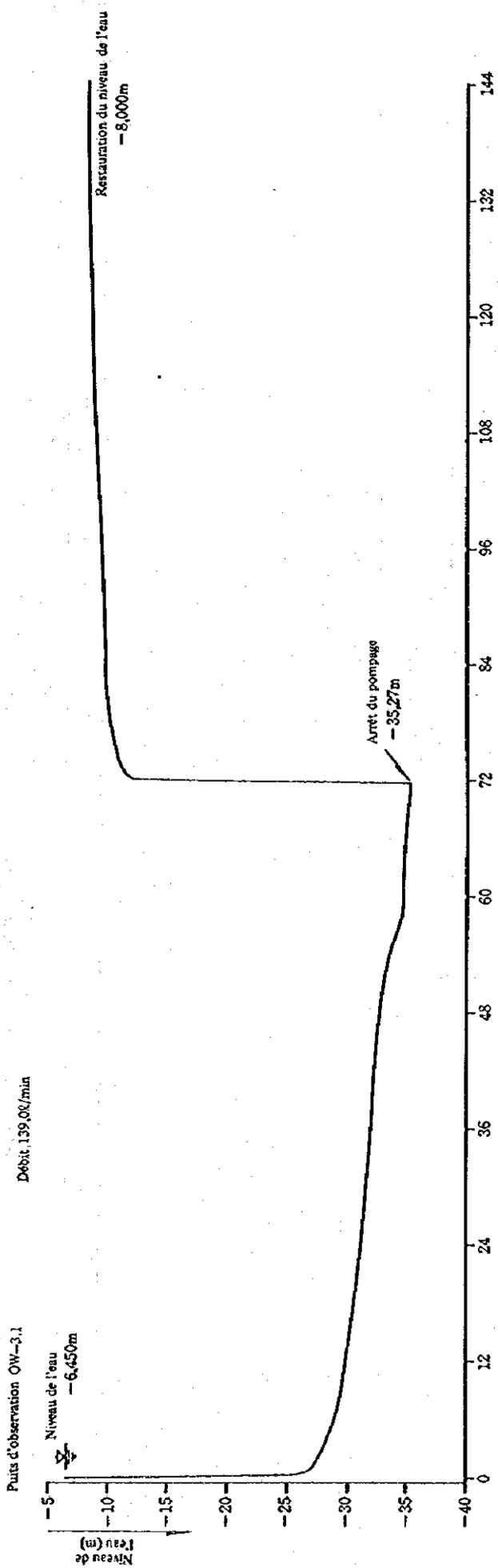
Annexé--Schéma 3 Variation du niveau de l'eau en ce qui concerne les essais de pompage continu et les essais de restauration du niveau de l'eau (Emplacement WP-1)



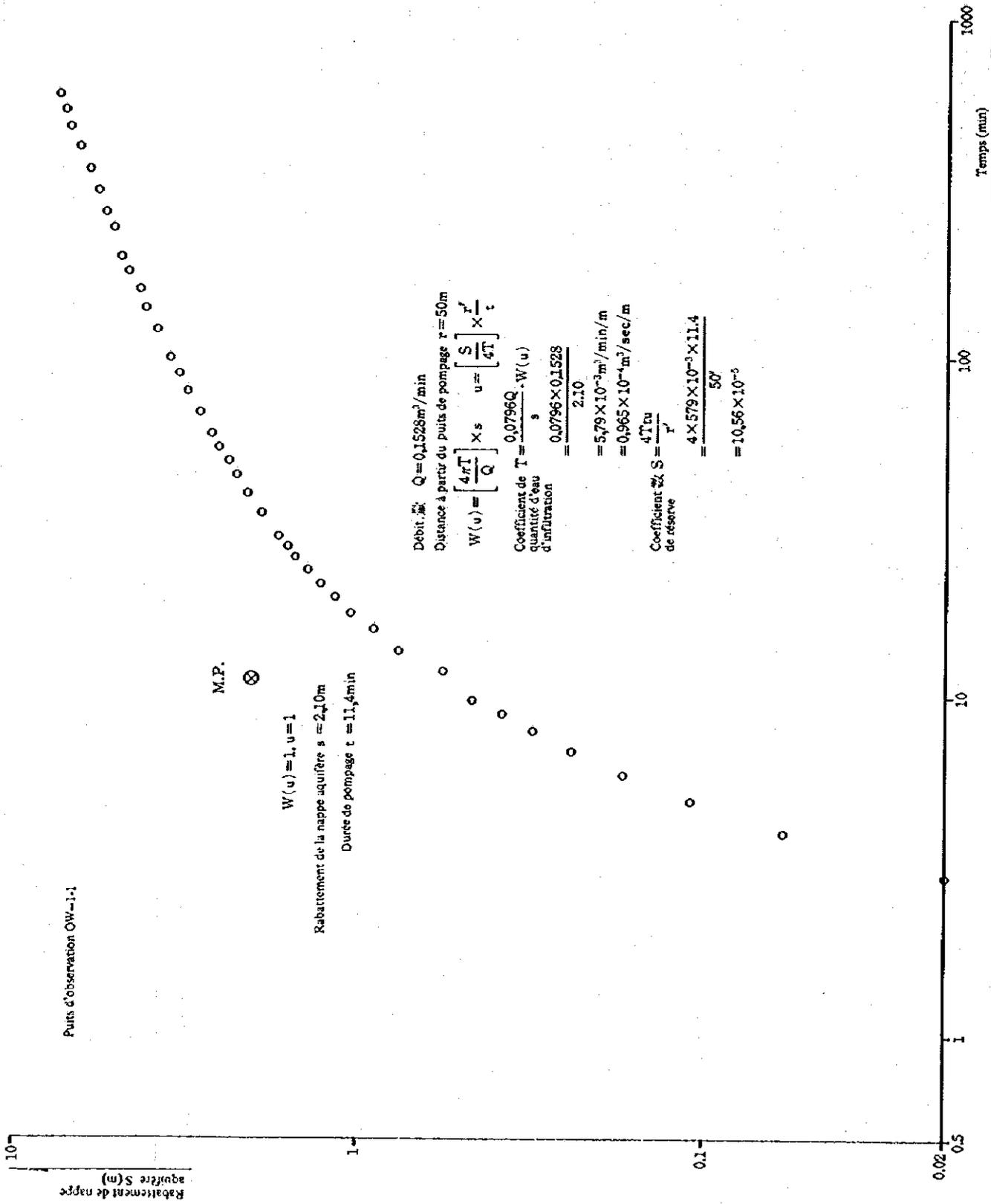
Annexe-Schéma 4 Variation du niveau de l'eau en ce qui concerne les essais de pompage continu et les essais de restauration du niveau de l'eau (Emplacement WP-2)



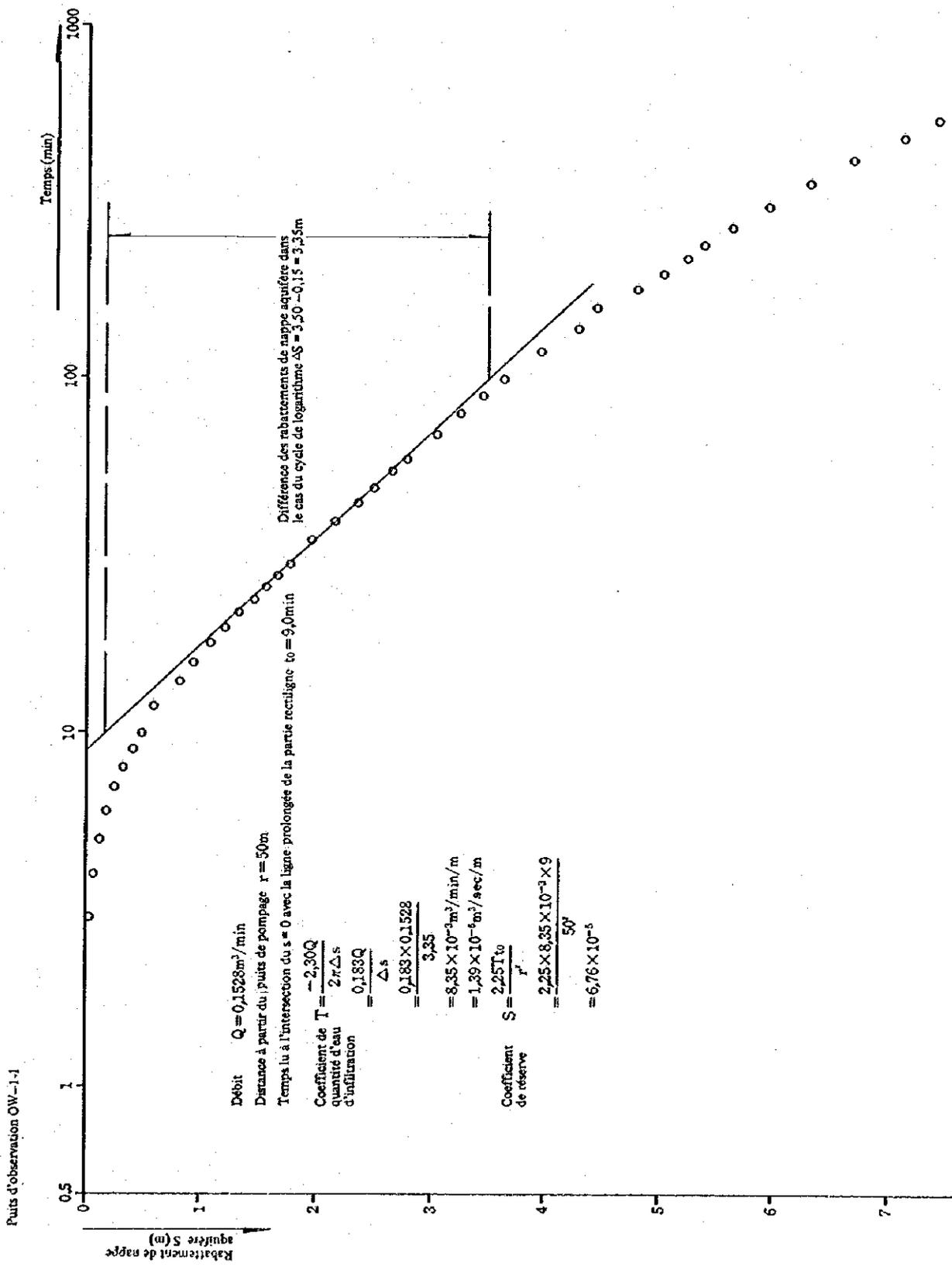
Annexe-Schéma 5 Variation du niveau de l'eau en ce qui concerne les essais de pompage continu et les essais de restauration du niveau de l'eau (1^{ère} nappe aquifère en WP-3)



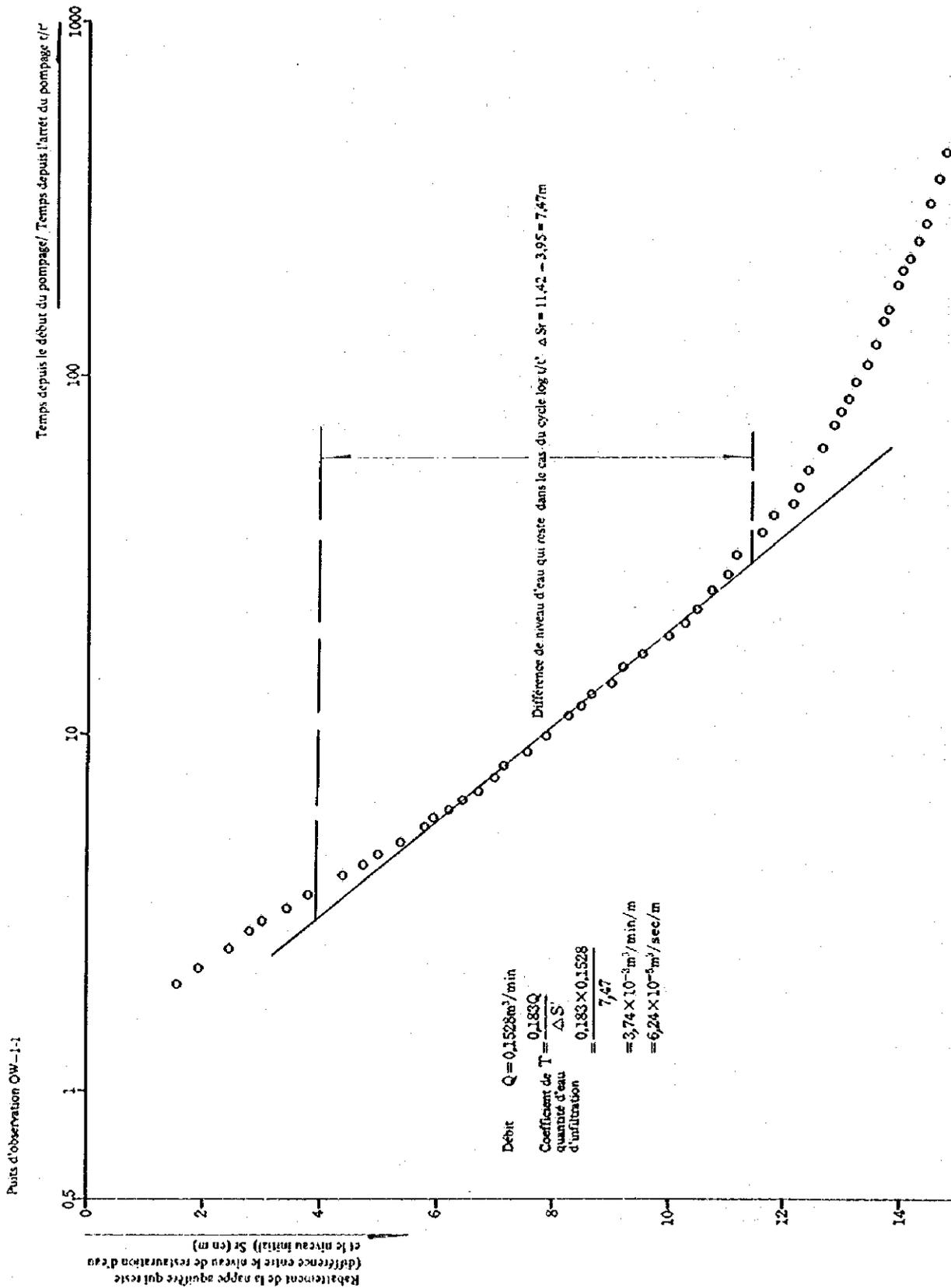
Annexe-Schéma 6. Variation du niveau de l'eau en ce qui concerne les essais de pompage continu et les essais de restauration du niveau de l'eau (2^{ème} nappe aquifère en WP-3)



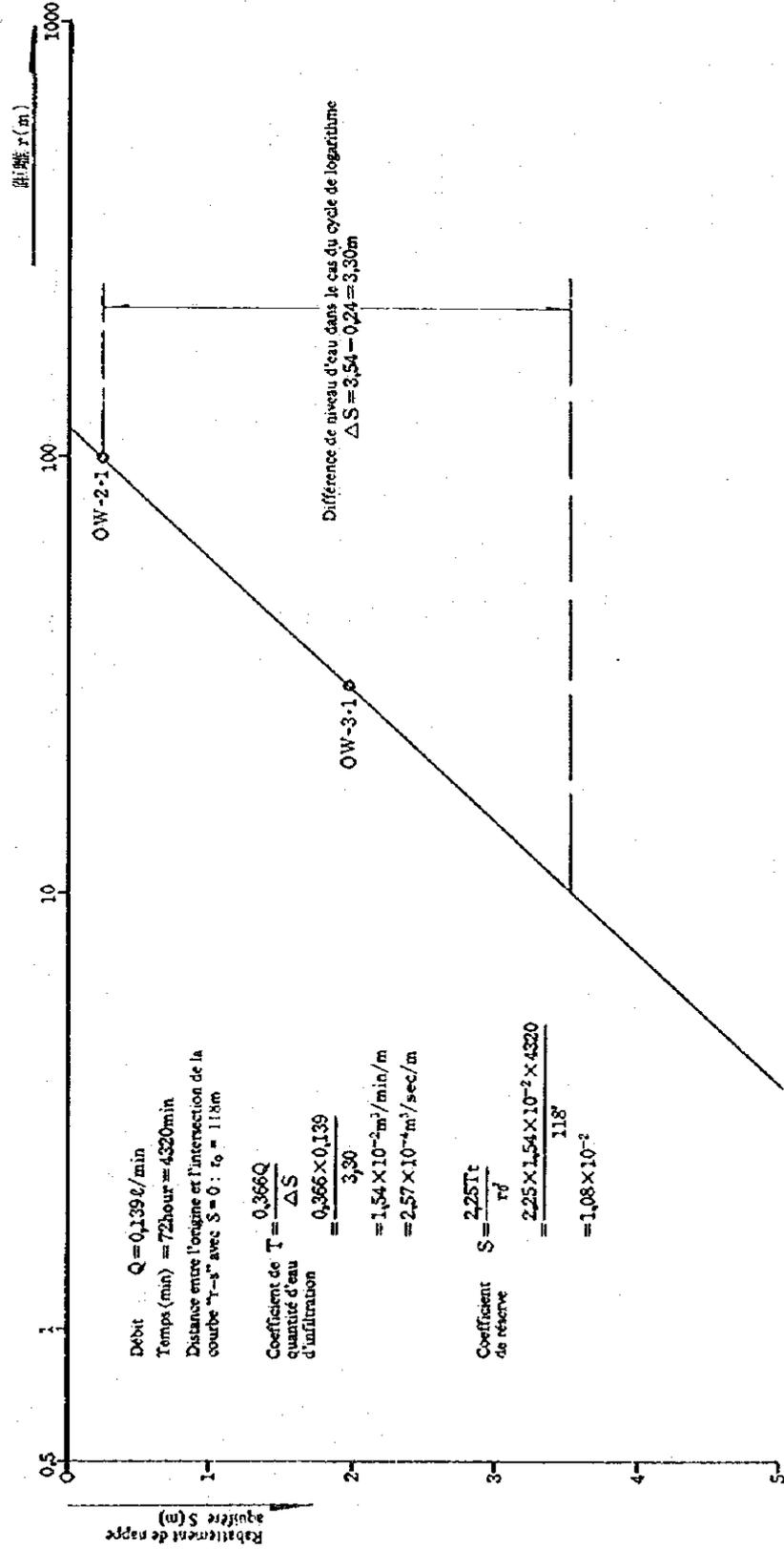
Annexe-Schéma 7 Courbe "s-t" en WP-1 (Méthode de Theis)



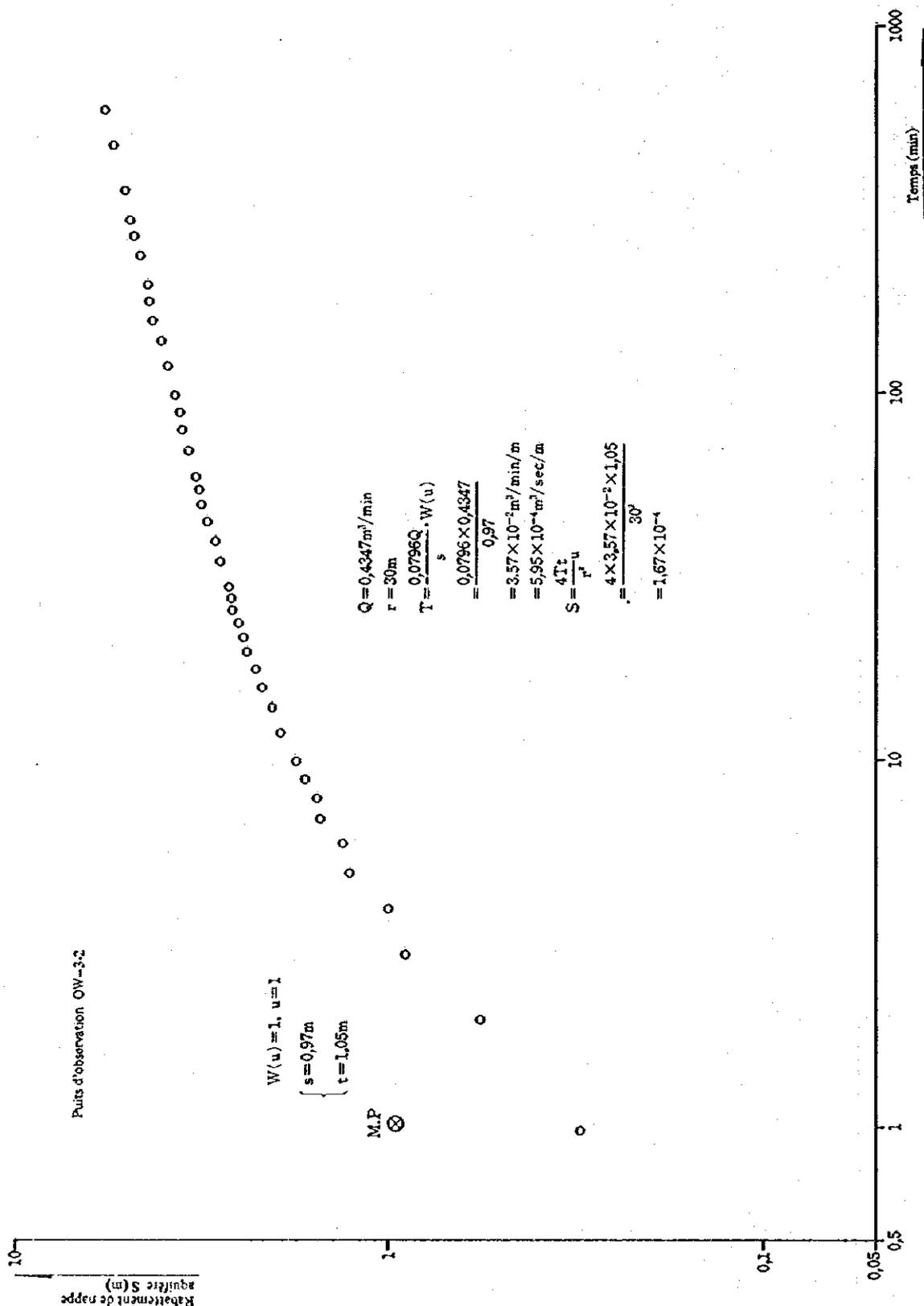
Annexe-Schéma 8 Courbe "s-r" en WP-1 (Méthode de Jacob)



Annexe-Schéma 9 Courbe " $S_r - t/t'$ " en WP-1 (Méthode de restauration du niveau de l'eau)



Annexe-Schéma 10 Courbe "s-r" en WP-2 (Méthode de Thiém)



Puits d'observation OW-3-2

$$W(u) = 1, u = 1$$

$$\begin{cases} s = 0,97m \\ t = 1,05m \end{cases}$$

M.P. ⊗

$$Q = 0,4347 m^3/min$$

$$r = 30m$$

$$T = \frac{0,0796Q}{s} \cdot W(u)$$

$$= \frac{0,0796 \times 0,4347}{0,97}$$

$$= 3,57 \times 10^{-2} m^3/min/m$$

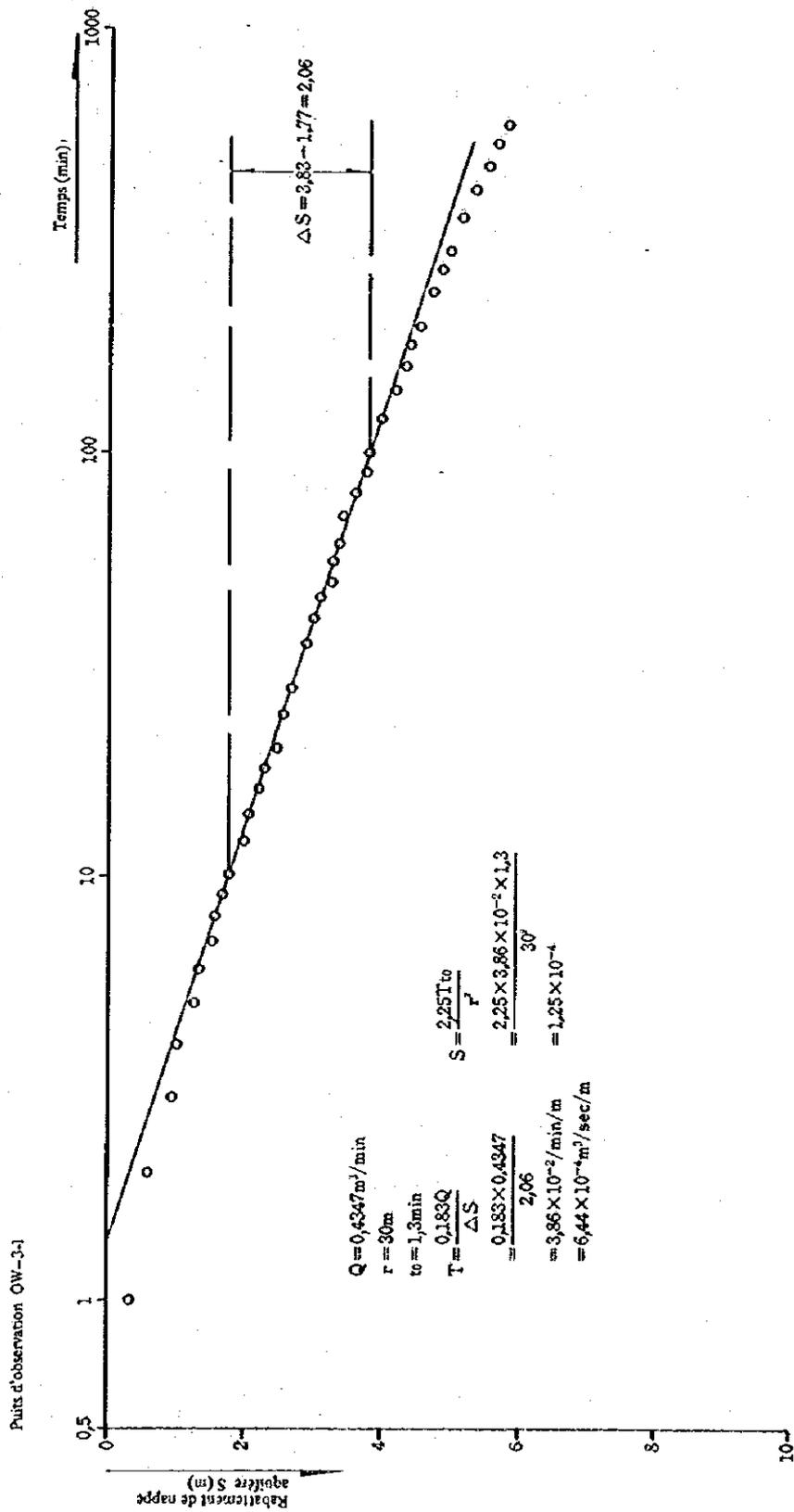
$$= 5,95 \times 10^{-4} m^3/sec/m$$

$$S = \frac{4Tt}{r^2 u}$$

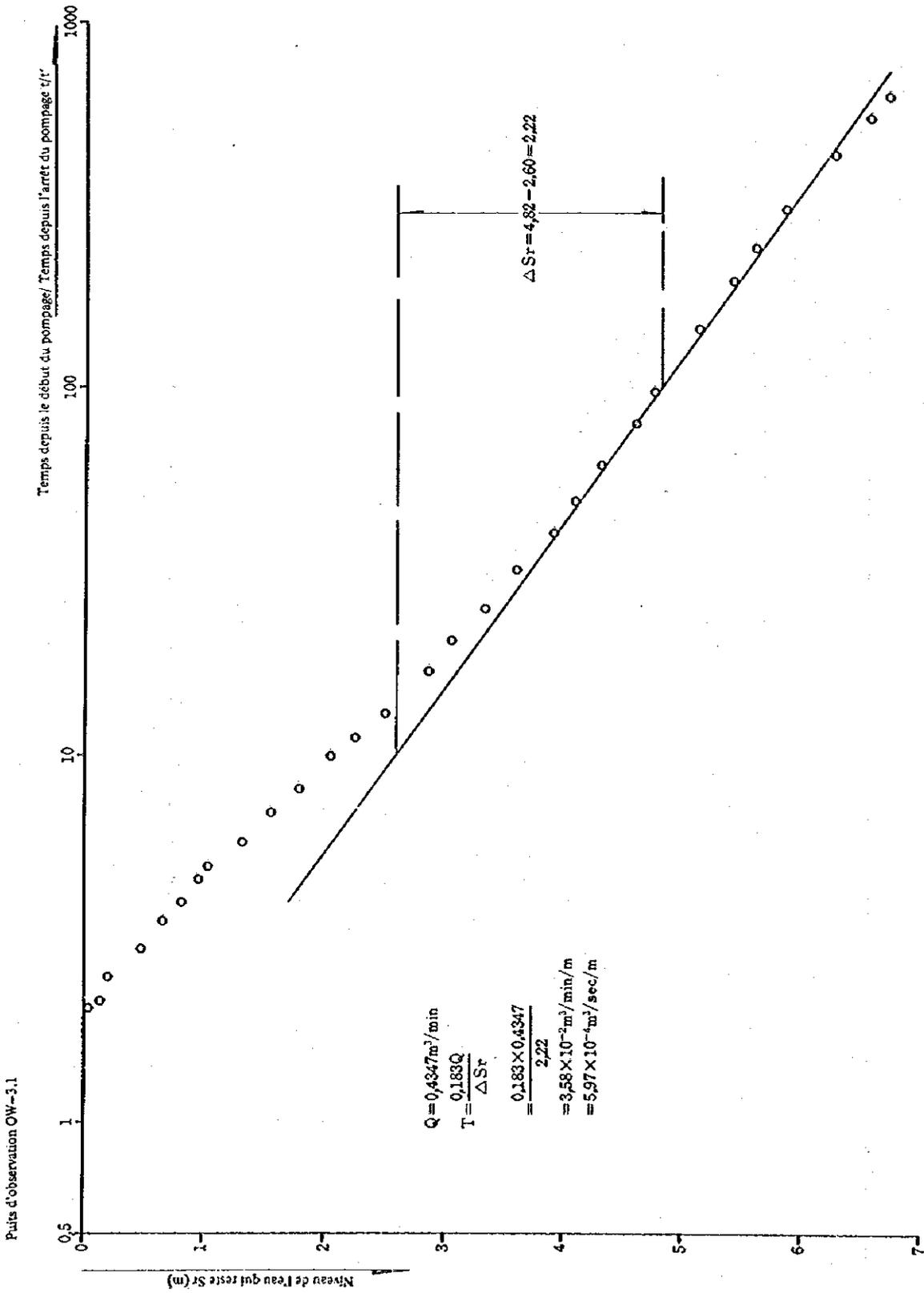
$$= \frac{4 \times 3,57 \times 10^{-2} \times 1,05}{30^2}$$

$$= 1,67 \times 10^{-4}$$

Annexe-Schéma 11 Courbe "s-t" de la 1^{ère} nappe aquifère en WP-3 (Méthode de Theis)



Annexe-Schéma 12 Courbe "s-t" de la 1^{ère} nappe aquifère en WP-3 (Méthode de Jacob)

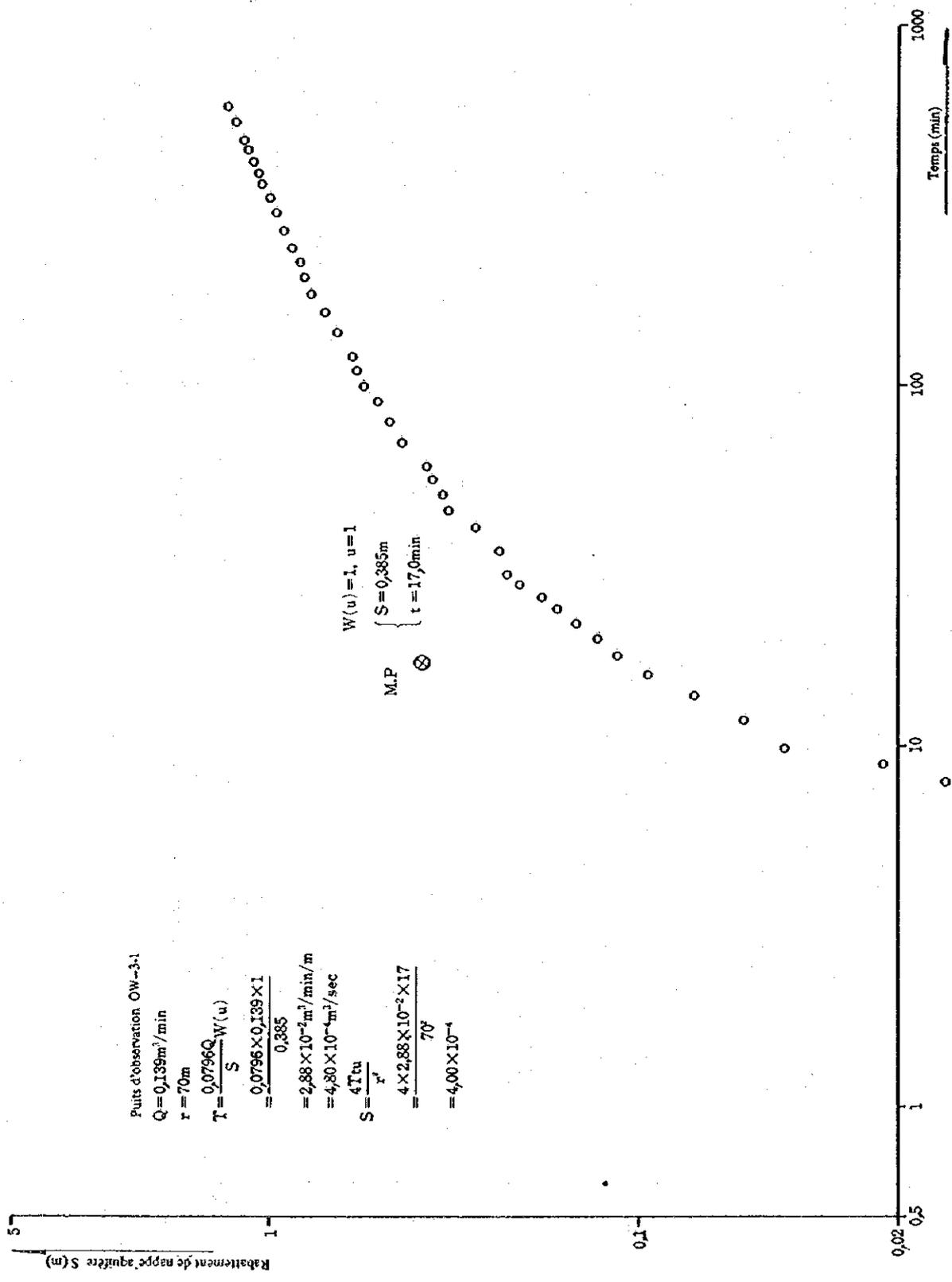


Annexe-Schéma 13 Courbe "Sr - t/t' de la 1^{ère} nappe aquifère en WP-3 (Méthode de restauration du niveau de l'eau)

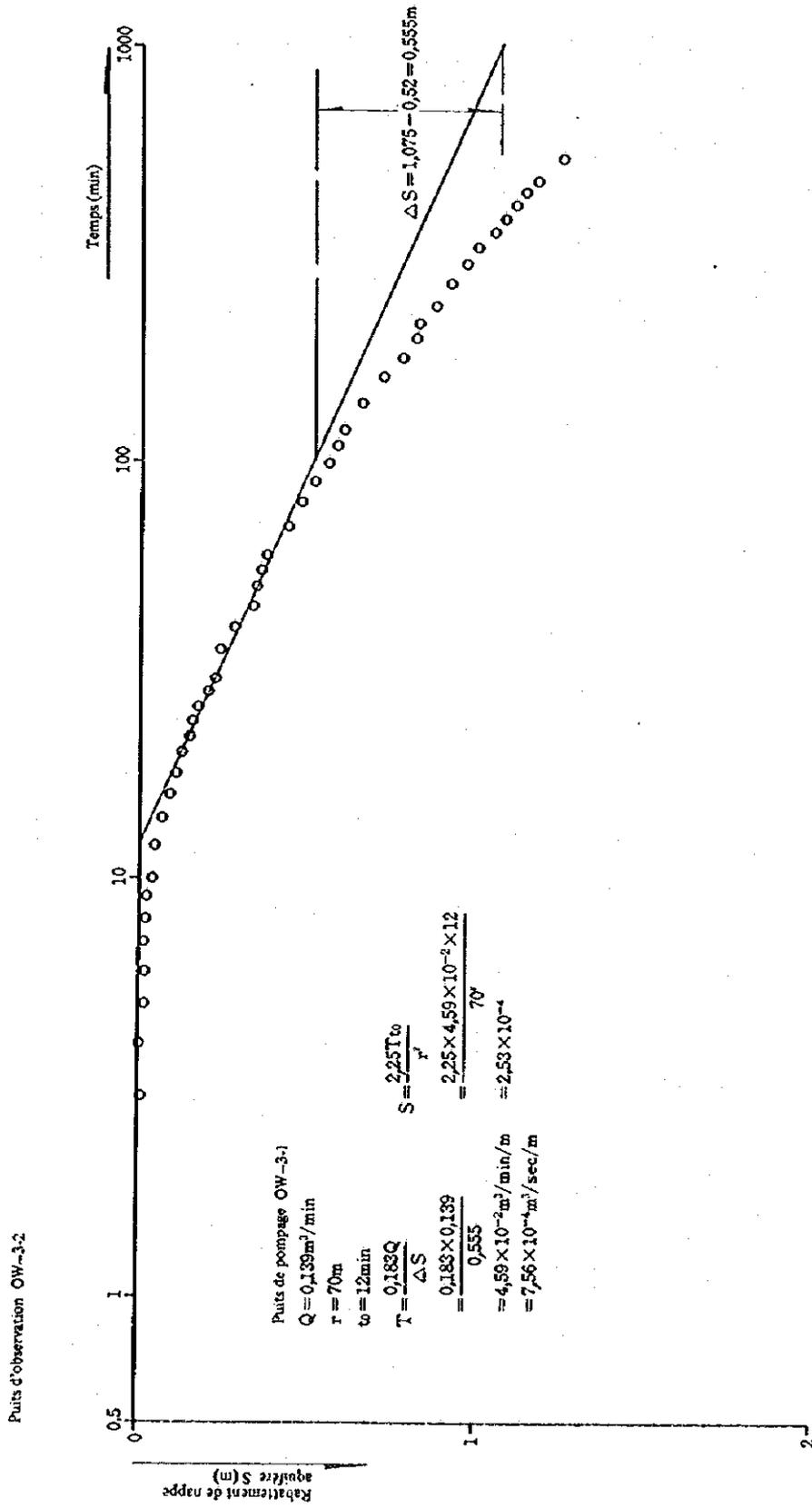
Puits d'observation OW-3-2

Puits d'observation OW-3-1
 $Q = 0,139 \text{ m}^3/\text{min}$
 $r = 70 \text{ m}$
 $T = \frac{0,0796Q}{S} W(u)$
 $= \frac{0,0796 \times 0,139 \times 1}{0,385}$
 $= 2,88 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}/\text{m}$
 $= 4,80 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$
 $S = \frac{4Ttu}{r^2}$
 $= \frac{4 \times 2,88 \times 10^{-2} \times 17}{70^2}$
 $= 4,00 \times 10^{-4}$

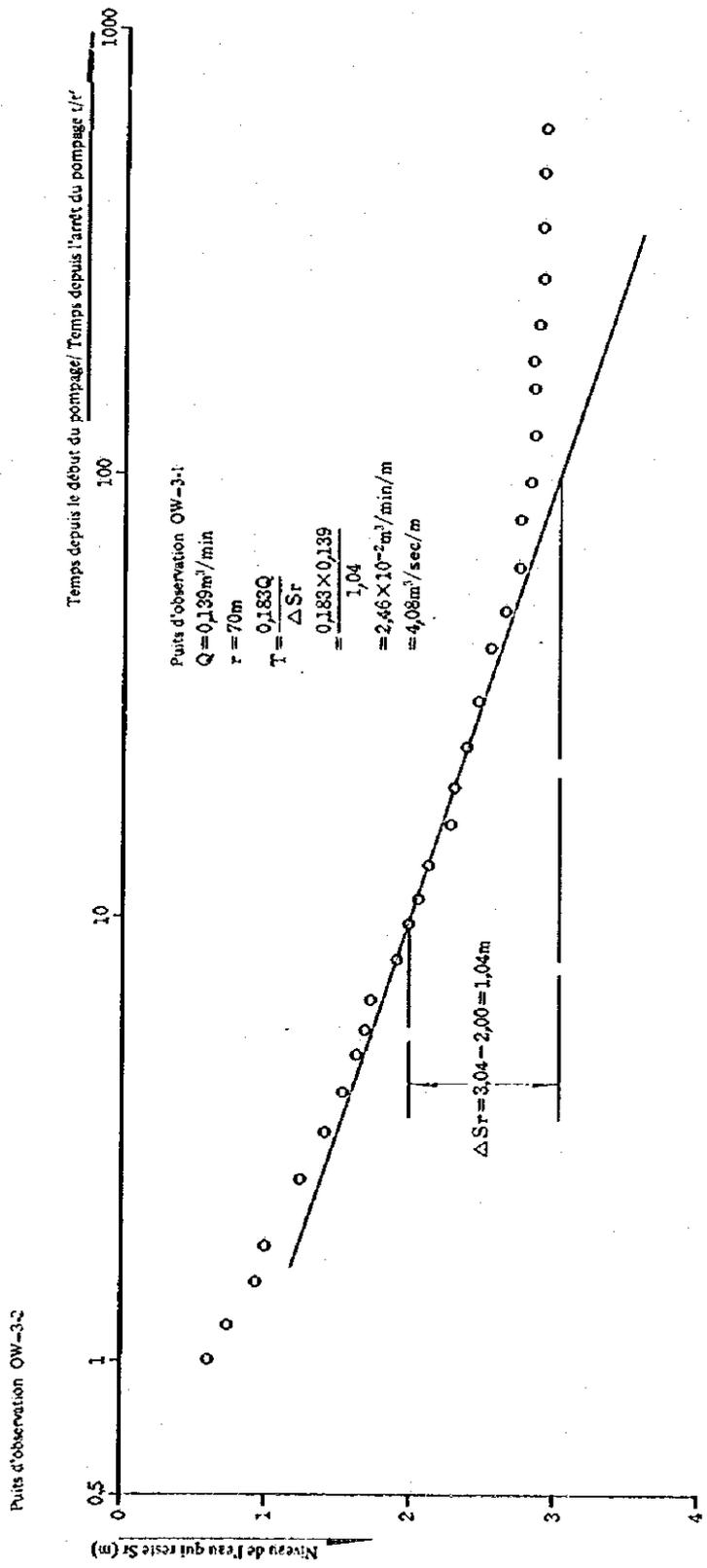
M.P. \otimes
 $W(u) = 1, u = 1$
 $\left\{ \begin{array}{l} S = 0,385 \text{ m} \\ t = 17,0 \text{ min} \end{array} \right.$



Annexe-Schéma 14 Courbe "s-t" de la 2^{ème} nappe aquifère en WP-3 (Méthode de Theis)



Annexe-Schéma 15 Courbe "s-t" de la 2ème nappe aquifère en WP-3 (Méthode de Jacob)



Annexe-Schéma 16 Courbe "Sr -- t'" de la 2^{ème} nappe aquifère en WP-3
(Méthode de restauration du niveau de l'eau)

JICA