

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

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

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

ÉTUDE DES POSSIBILITÉS D'EXPLOITATION

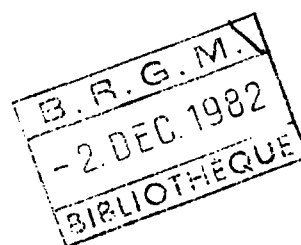
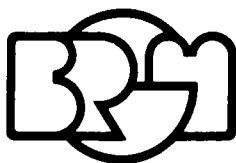
D'EAU CHAUDE DANS LE HAINAUT

CONTRAT N° EG-C-2-009-F (RS)

ANALYSE DU RÉSERVOIR

par

J. BECKELYNCK, B. BOSCH et A. TALBOT



Service géologique régional NORD - PAS-DE-CALAIS

Fort de Lézennes, B.P. 26, Lézennes - 59260 Hellemmes-Lille - Tél.: (20) 91.38.19

81 SGN 868 NPC

le 24 décembre 1981

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

ETUDE DES POSSIBILITES D'EXPLOITATION

D'EAU CHAUDE DANS LE HAINAUT

CONTRAT N° EG-C-2-009-F (RS)

ANALYSE DE RESERVOIR

R E S U M E

De par la complexité tectonique des ses formations profondes, la région du Nord de la France n'a pu faire l'objet de cartes de potentiel géothermique, en dépit d'indices suggérant l'existence d'un réservoir géothermal sur la bordure nord du bassin minier franco-belge.

Les nombreuses coupes Nord-Sud réalisées dans tout le Bassin Houiller illustrent l'enfoncement progressif vers le Sud, sous le Namuro-Westphalien, du Calcaire carbonifère qui apparaît directement sous les terrains crétacés au bord nord du Bassin.

Par ailleurs, la carte d'isohypses de la surface du Paléozoïque met en évidence le prolongement en France jusque Raismes de la dépression de la vallée de la Haine, avec cependant un relèvement sensible de - 300 à - 150 m N.G.F. La morphologie de cette dépression, constituée d'une série de fosses élémentaires isolées par des remontées du socle, s'explique maintenant par l'existence de niveaux évaporitiques sous le houiller.

Dans la région hennuyère qui nous intéresse plus particulièrement, le réservoir du Calcaire carbonifère n'a guère été sollicité que dans le secteur où la nappe de la craie se révèle peu productive. En conséquence, on ne dispose que de quelques forages, mal répartis spatialement, mais qui montrent que la nappe du Calcaire carbonifère possède une charge supérieure à celle de la craie. Dans de telles conditions, on doit pouvoir constater l'existence de mélanges d'eaux d'origines différentes et confirmer, ou non, à partir d'analyses chimiques et isotopiques, les mécanismes hydrogéologiques suspectés. En effet, dans la mesure où se produisent des transferts de masse entre les aquifères crayeux et calcaire, l'eau de chaque

réservoir peut être utilisée comme traceur hydrologique naturel. En outre, ces transferts sont autant d'indices de la productivité en profondeur du réservoir calcaire.

Les analyses servant de référence étant bien définies, les autres se trouvent dispersées entre les deux extrêmes, caractéristiques de la nappe de la craie et de celle du Calcaire carbonifère. La situation de chacune d'elle est alors fonction des échanges existant entre les deux aquifères.

Cette observation montre que le réservoir calcaire est productif en profondeur. En attendant une indispensable confirmation par sondages, on peut espérer la réalisation future d'ouvrages pouvant s'avérer artésien et débitant des eaux de 40° à 70°C.

59 Pages, 28 Figures, 1 Tableau, 4 Annexes.

**_PROGRAMME DE RECHERCHES ET DE DEVELOPPEMENT
DANS LE DOMAINE DE L'ENERGIE_**

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

Etude des possibilités d'exploitation d'eau chaude dans le Hainaut

Contrat n° EG-C-2-009 - F (RS)

Responsable scientifique : G. SOULIEZ, Directeur
inter-régional B.R.G.M. région Nord

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Service géologique régional Nord Pas-de-Calais

Fort de Lezennes B.P. 26 - 59260 Hellemmes-Lille

Responsable de l'étude: A. TALBOT - SGR/NPC

Principaux collaborateurs:

- . Département Géothermie: J. DESPLAN, J.C. FOUCHET
- . Département Minéralogie - Géochimie - Analyses: B. BOSCH
- . Service Géologique Régional Nord Pas-de-Calais: J. BECKELYNCK
: J. LEPLAT

COMPAGNIE GENERALE DE CHAUFFE

35, Avenue de Lattre de Tassigny 59350 Saint-André

Responsable de l'étude: J. DUPONT-CORBRAN

Principaux collaborateurs: J. DUPAS

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
HISTORIQUE DES TRAVAUX.....	4
ANALYSE DU RESERVOIR.....	7
1 - NATURE, GEOMETRIE ET STRUCTURE DU RESERVOIR.....	7
11 - Esquisse géologique du secteur.....	7
12 - Le réservoir calcaire.....	14
13 - Analyses des forages profonds.....	19
2 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU RESERVOIR.....	26
21 - Piézométrie.....	26
22 - Transmissivités.....	33
23 - Porosité.....	33
3 - L'EAU : UN TRACEUR HYDROLOGIQUE NATUREL.....	35
31 - Représentation spatiale du chimisme des eaux.....	35
32 - Recherche des différentes familles hydrochimiques.....	41
33 - Hydrochimie isotopique.....	49
4 - CONCLUSIONS SUR LES RESSOURCES.....	59
BIBLIOGRAPHIE.....	60

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I	Ensembles lithostratigraphiques.....	8
-----------	--------------------------------------	---

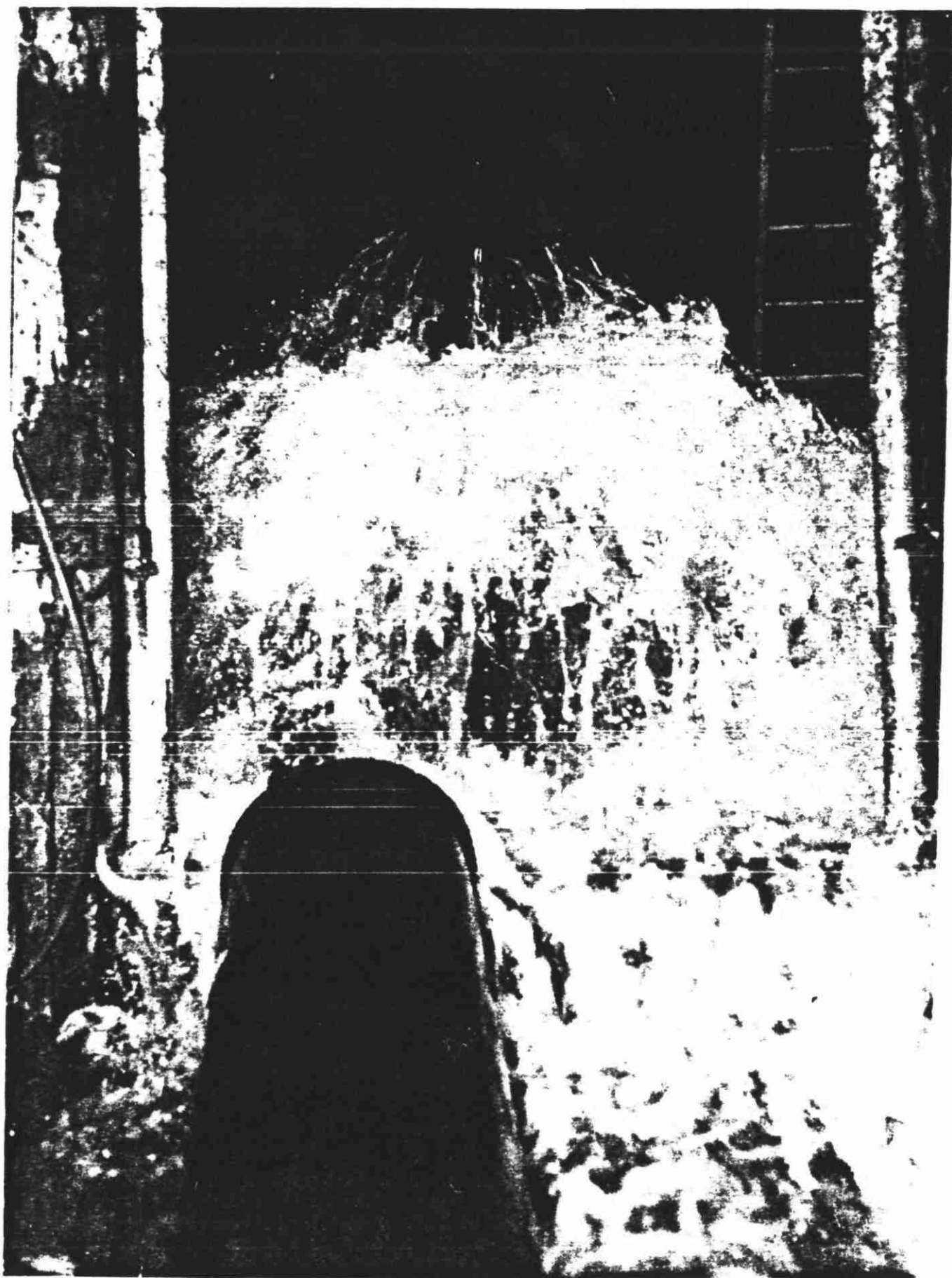
LISTE DES FIGURES

FIGURE 1	Limite d'extension de la zone d'étude.....	9
FIGURE 2	Contexte géologique régional.....	10
FIGURE 3	Ecorché géologique anté-mésozoïque.....	13
FIGURE 4	Carte d'isohypse du toit du Paléozoïque.....	15
FIGURE 5	Coupes géologiques schématiques.....	17
FIGURE 6	Carte d'isohypse du toit du Calcaire carbonifère.....	18
FIGURE 7	Variations de la composition isotopique en soufre des sulfates.....	25
FIGURE 8	Coupe géologique schématique W-NW/E-SE.....	27
FIGURE 9	Carte d'épaisseur des formations séparant le Dinantien et le Sénonien.....	28
FIGURE 10	Carte piézométrique de la nappe de la craie (Séno-turonien supérieur).....	29
FIGURE 11	Carte piézométrique de la nappe du calcaire (Dinantien)..	30

	<u>Pages</u>
FIGURE 12 Prélèvements dans l'aquifère calcaire.....	32
FIGURE 13 Répartition spatiale des valeurs de débits spécifiques.....	34
FIGURE 14 Représentation spatiale du chimisme des eaux.....	36
FIGURE 15 Région de Saint-Amand-les-Eaux à Valenciennes : faciès chimique des eaux souterraines.....	38
FIGURE 16 Secteur de Valenciennes : faciès chimique des eaux souterraines rencontrées dans différentes formations	39
FIGURE 17 Le Givétien - gamma-ray et niveaux d'anhydrite.....	40
FIGURE 18 Diagramme gaussologarithmique du résidu sec.....	43
FIGURE 19 Diagramme gaussologarithmique des SO_4^{--}	44
FIGURE 20 Diagramme gaussologarithmique des Cl^-	44
FIGURE 21 Diagramme gaussologarithmique des HCO_3^{--}	46
FIGURE 22A Diagramme gaussologarithmique du Ca^{++} (nappe de la craie).....	47
FIGURE 22B Diagramme gaussologarithmique du Ca^{++} (nappe du Calcaire carbonifère).....	47
FIGURE 23A Diagramme gaussologarithmique du Na^+ (nappe de la craie).....	48
FIGURE 23 Diagramme gaussologarithmique du Na^+ (nappe du Calcaire carbonifère).....	48
FIGURE 24 Diagramme gaussologarithmique du fluor.....	50
FIGURE 25 Diagramme gaussologarithmique des SO_4^{--} (nappe du Calcaire carbonifère).....	53
FIGURE 26 Relation $SO_4^{--} - \delta^{34}S$	54
FIGURE 27 Relation Oxygène 18 et Deutérium (ensemble des analyses).....	56
FIGURE 28A Relation Oxygène 18 et Deutérium (zone nord de la faille de Seclin).....	38
FIGURE 28B Relation Oxygène 18 et Deutérium (zone sud de la faille de Seclin).....	58

ANNEXES

ANNEXE I	1 à 6	Diagraphies des sondages de reconnaissance
ANNEXE II	1 à 2	Résultats des analyses isotopiques sur roches
ANNEXE III		Analyses physico-chimiques
ANNEXE IV	1 à 2	Résultats des analyses isotopiques



Forage de la Source du Clos(indice national 21-7-178)
à Saint-Amand-les-Eaux

_ HISTORIQUE DES TRAVAUX _

Compte-tenu des caractéristiques des formations géologiques profondes et de leur complexité tectonique, il n'a pas été possible d'établir dans la région Nord Pas-de-Calais de *cartes de potentiel géothermique* comme dans les deux grands bassins sédimentaires [25,26]*. Dès lors, le développement d'opérations géothermiques dans notre région ne peut se faire qu'à la suite d'études particulières.

La présence de sources thermales et certaines venues d'eau chaude dans des forages profonds sur la bordure nord du bassin minier franco-belge sont autant d'indices suggérant *l'existence d'un réservoir géothermal*. En effet, dans ce secteur, le thermalisme de certaines eaux est signalé depuis fort longtemps comme à Saint-Amand-les-Eaux (Nord) où elles ont amené le développement d'une station thermale [14] connue et fréquentée des Romains, puis abandonnée jusqu'en 1650. Vers la fin du siècle dernier, différents auteurs se sont penchés sur l'origine des sources de Saint-Amand (la Fontaine-Bouillon, la Vieille-Chapelle, le Pavillon ruiné, l'Evêque d'Arras) [29]. Ces derniers admettent déjà que celles-ci proviennent des terrains carbonifères "à la faveur d'accidents non encore reconnus". L'Annuaire des Eaux minérales de la France [27] signale par ailleurs l'existence d'importantes arrivées d'eau chaude observées lors de travaux de reconnaissance du Houiller comme à Givenchy-lès-La-Bassée et à Meurchin ; leur puissance a constitué un obstacle insurmontable pour toute exploitation de la houille et le puits de Meurchin a dû être abandonné. Il en est de même des galeries minières de Baudour (Belgique) qui rencontrèrent une venue profonde, à 51-53°C, provoquée par un tir de mines en 1905, et dont le débit peut être estimé à 130 m³/h [37].

* Les références bibliographiques seront citées entre crochets.

C'est principalement en prenant en compte les résultats du sondage de recherche de Saint-Ghislain [18] que nous avons été amenés à reconsidérer *le champ hydrothermal de Saint-Amand-les-Eaux* en envisageant l'utilisation du *potentiel géothermique*. En effet, cet ouvrage, exécuté à l'initiative du Service Géologique de Belgique, a produit un débit artésien proche de 100 m³/h à une température de 74°C. L'aquifère capté est ici un karst développé dans le Viséen supérieur et recoupé de 2400 à 2630 mètres de profondeur.

Ces *indices*, bien que prometteurs, ne sont toutefois pas suffisants pour définir la géométrie et la structure du réservoir. C'est pourquoi le Bureau de Recherches Géologiques et Minières a été amené à proposer à la Commission des Communautés Européennes l'étude du réservoir du Calcaire carbonifère dans la zone franco-belge de Saint-Ghislain à Saint-Amand-les-Eaux (contrat 573-78-EGF). Dans le même temps, le Service géologique de Belgique a réalisé, avec le concours financier de la C.E.E., un forage à Douvrain d'une profondeur de 1354 m. Le débit artésien de cet ouvrage est estimé à 130 m³/h d'une eau à 67°C [31,42].

Une première synthèse des différentes données géologiques et hydrogéologiques existantes, faisant l'objet du rapport* B.R.G.M. 80 SGN 406 NPC/MGA/GTH, souligne en particulier *l'unicité du gisement géothermal*. Ce travail a été financé par la Commission des Communautés Européennes, par l'Etablissement Public Régional et par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières [1].

Dès lors, le principe de *la réalisation d'un forage profond d'exploration* pouvait être retenu sans toutefois préjuger de la qualité et de la nature du (ou des) maître (s) d'ouvrage et maître (s) d'oeuvre. Ce forage devant être intégré dans un projet concret d'exploitation, il était nécessaire de réaliser avant l'exécution d'un tel ouvrage une étude thermique et économique des besoins de surface. Avant d'entreprendre celle-ci, nous avons jugé utile de compléter l'analyse des données afin de préciser le schéma hydraulique du réservoir et de le replacer dans son *contexte hydrogéologique régional*.

* D. BERNARD, B. BOSCH, P. CAULIER : Acquisition et rassemblement des données géothermiques disponibles et nouvelles dans la zone franco-belge de Saint-Ghislain à Saint-Amand-les-Eaux (Nord) - Contrat 573-78-EGF.

C'est ce qui nous a conduit à solliciter un nouveau contrat auprès de la Commission des Communautés Européennes. Ce contrat (n° EG-C-009-F/RS) a été réalisé avec le concours financier du Comité Géothermie, du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (région Nord) et de la Compagnie Générale de Chauffage.

Les résultats obtenus sont présentés en trois rapports rassemblés ici dans le même document.

- . rapport 81 SGN 868 NPC : Analyse du réservoir,
- . rapport 82 SGN 245 NPC : Etude thermique et économique des besoins de surface,
- . rapport 82 SGN 352 NPC/GTH : Possibilités d'utilisation de la géothermie pour le chauffage du complexe immobilier "La Briquette" au Sud de Valenciennes (Nord).

— ANALYSE DU RÉSERVOIR —

1 - NATURE, GEOMETRIE ET STRUCTURE DU RESERVOIR

Le tableau I présente les divers ensembles lithostratigraphiques pouvant être recoupés par un forage. De l'analyse de ce tableau, il ressort que seul *le Calcaire carbonifère constitue un objectif géothermique.*

Dans le cadre du précédent contrat, un inventaire détaillé de tous les forages existants ou ayant existé, quelle que soit leur nature, a été réalisé afin de compiler le maximum d'informations pouvant nous aider à comprendre *le comportement hydraulique de la nappe du Calcaire carbonifère.* Dans la région de Saint-Amand-les-Eaux, les caractéristiques de l'aquifère calcaire ne s'appuient que sur peu de données. De ce fait, on a jugé utile *d'étendre le secteur d'étude à l'ensemble du réservoir calcaire* afin de profiter des informations existant au Nord du Hainaut, en particulier dans la région de Roubaix-Tourcoing (figure 1).

11 - Esquisse géologique du secteur

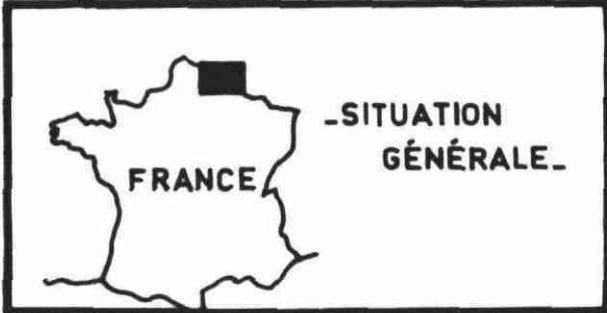
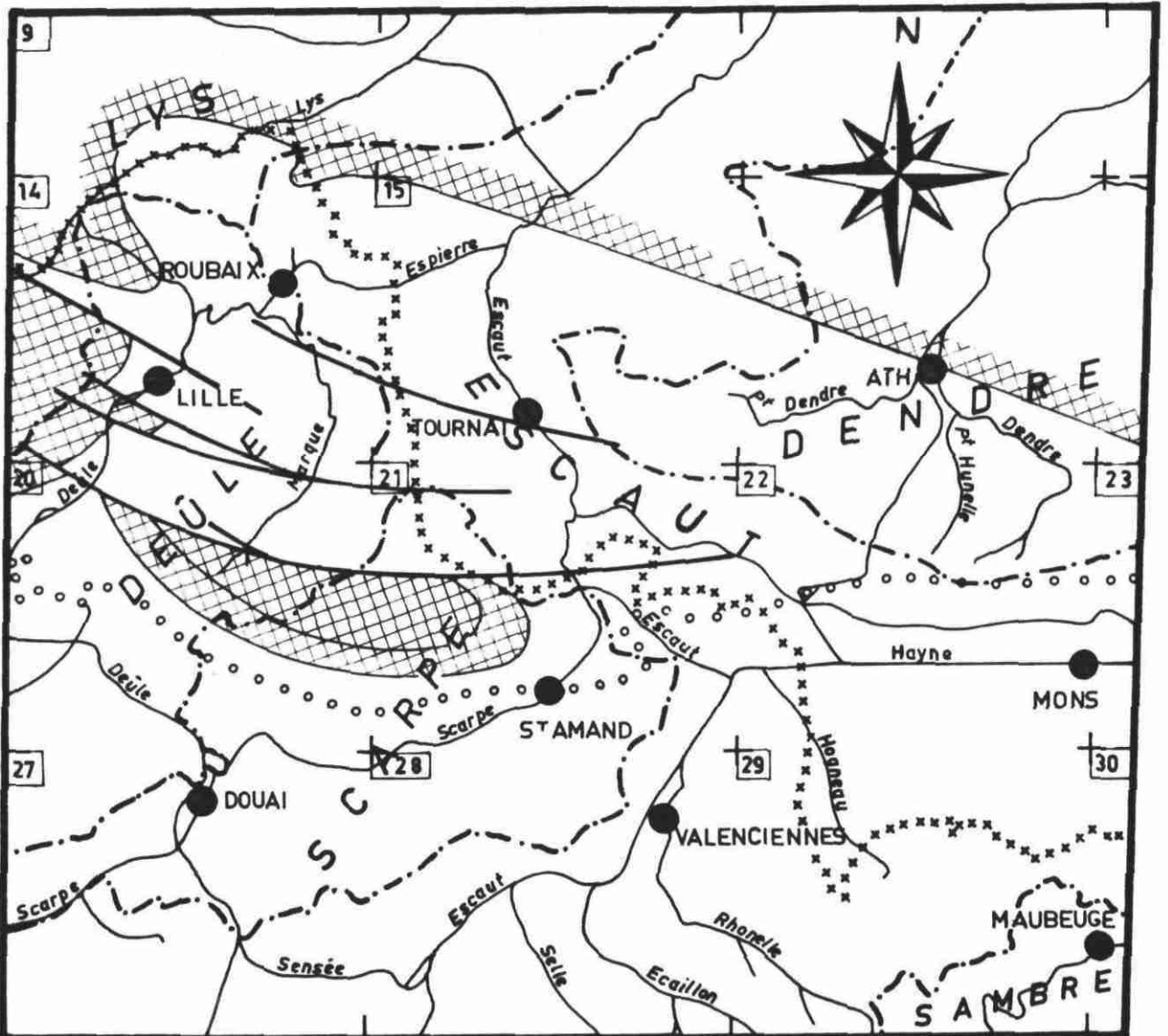
La carte géologique présentée sur la figure 2 donne un aperçu de l'extension du réservoir du Calcaire carbonifère. Le jeu des érosions et des transgressions successives aboutit à la situation actuelle : le Calcaire carbonifère affleure en Belgique dans la région de Tournai, à Péruwelz, puis plus à l'Est dans les vallées de la Dendre et de la Sennette formant un synclinorium qui s'étend jusqu'au méridien de Namur et suivant plus loin la vallée de la Meuse en direction de Visé.

La région étudiée, située sur le flanc nord de l'anticlinal faillé du Condroz (faille du Midi), a été marquée par les principaux cycles orogéniques (calédonien, hercynien et alpin). Les terrains les plus anciens reconnus par sondage sont attribués au Silurien. La sédimentation y est alors schisto-gréseuse, de type détritique. Celle-ci se poursuivra durant le Dévonien inférieur. Elle correspond en fait à la destruction de la chaîne calédonienne qui s'est mise en place à la fin du Silurien.





L'invasion marine commence dès le Dévonien moyen provoquant par là même l'arrêt des apports détritiques et le développement des calcaires récifaux. Cette transgression semble marquer un temps d'arrêt lors du Fammennien qui est de nouveau schisteux.

Perméabilité de fissures	Perméabilité d'interstices	Imperméable	Stratigraphie	Lithologie	Hydrogéologie
			Quaternaire	Sables plus ou moins argileux, graviers, tourbe.	Mappe présentant peu d'importance, les alluvions fluviales étant de peu d'étendue et de faible épaisseur. Exploitée toutefois dans la région de Valenciennes.
			Yprésien	Argile plastique avec petits lits sableux à la base et cristaux de gypse.	Imperméable.
			Landénien supérieur	Sables blancs devenant glauconieux vers la base.	La perméabilité et l'épaisseur de cette formation étant faible, il est difficile d'extraire plus de 5 à 7 m ³ /h par ouvrage.
			Landénien inférieur	Argile plastique avec à la base des niveaux gréseux (tuffeau).	Imperméable - Vers l'Est, se développe au détriment de l'Argile de Louvil le Tuffeau de Valenciennes.
			Séno-turonien supérieur	Craie blanche, craie grise, craie à silex.	Mappe la plus importante tant par sa superficie que par sa valeur économique.
			Turonien moyen et inférieur-Cénomanién	Marnes bleues, marnes vertes.	Semi-perméable.
			Albien	Grès, marnes parfois sableuses.	A l'état résiduel.
			Mealdien	Sables, graviers, argile lignitifère.	Parfois très aquifère (torrent d'Anzin).
			Westphalien	Grès, schistes et charbon.	Imperméable.
			Namurien	Zone schisto-gréseuse, grès, ampélites, phanites.	La base peut se révéler aquifère.
			Dinantien	Calcaires, brèches et schistes à la base.	Le Viséen est intensément karstifié.

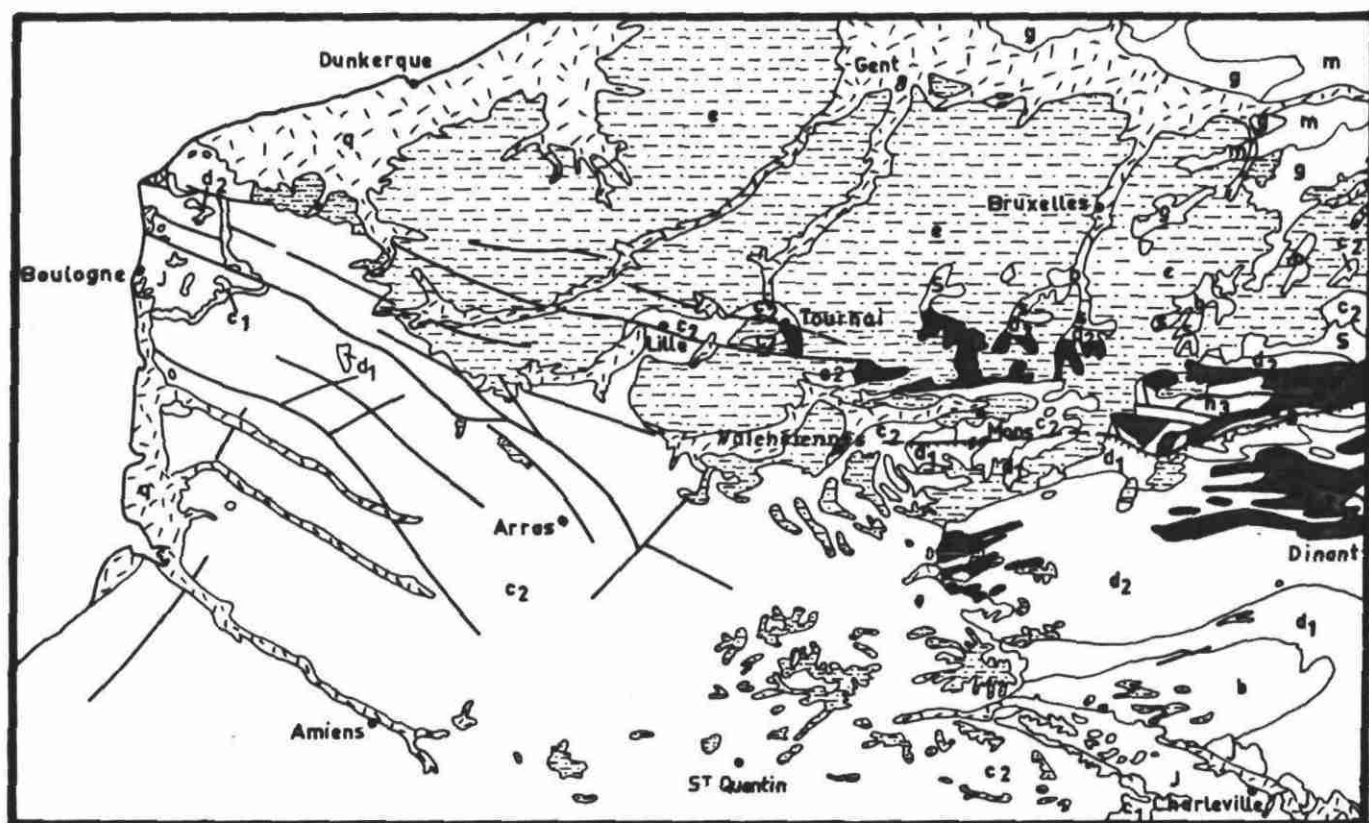
Limite d'extension de la zone d'étude



LEGENDE

-  limite de bassin versant
-  frontière franco-belge
-  limite du réservoir calcaire
-  limite nord du bassin minier

Contexte géologique régional



D'après Carte géologique de la France
et de la marge continentale-Ed. BRGM 1980

LEGENDE

	q	Quaternaire		h ₃	Westphalien
	m	Miocène		h ₁₋₂	Dinantien (Calcaire carbonifère)
	g	Oligocène		d ₂	Dévonien moyen et supérieur
	e	Eocène		d ₁	Dévonien inférieur
	c ₂	Crétacé supérieur		s	Silurien-Ordovicien
	c ₁	Crétacé inférieur		b	Cambrien
	J	Jurassique			Faille
					Faille du Midi

Echelle 1/1500 000

Le début du Carbonifère est marqué à nouveau par une transgression. Les dépôts tournaisiens constitués par une alternance de calcaires et de schistes proviennent vraisemblablement du Sud, d'îles annonçant les mouvements hercyniens. Nous renvoyons pour plus amples informations au rapport B.R.G.M. 80 SGN 406 NPC/MGA/GTH qui détaille la stratigraphie du Paléozoïque.

A la fin du Wesphalien, le paroxysme orogénique (phase asturienne) est à l'origine des chevauchements qui ont engendré un déplacement des terrains anté-westphaliens (synclinal de Dinant) estimé à 7 km à l'Ouest et à 30 km à l'Est, par l'intermédiaire de la faille du Midi, sur le synclinorium ardennais de Namur. Les déséquilibres provoqués par les glissements et charriages ont été corrigés par des détentes qui sont la cause de multiples failles directes d'effondrement.

Durant le Crétacé, la transgression permet le dépôt de sédiments. D'une façon générale, exceptés quelques vestiges d'Albien et de Cénomaniens dans les dépressions de la fosse de la Haine et dans le Tournaisis, les terrains crétacés ne sont connus que par ses formations les plus jeunes.

Au cours de l'épisode tertiaire de surrection de l'Artois et du Mélançois, certaines des failles hercyniennes ont joué en sens inverse. L'édification de ces reliefs a engendré la séparation des bassins de Londres - Bruxelles et de Paris.

Schématiquement, le réservoir du Calcaire carbonifère affecte la forme d'un synclinal dissymétrique. Si dans la région de Namur, ce schéma est assez proche de la réalité, il se complique en se dirigeant vers l'Ouest. En effet, la région de Tournai offre une zone particulièrement faillée entraînant une surélévation axiale du Tournaisis et plus à l'Ouest du Mélançois. Ce compartiment faillé est bordé au Nord par la faille de Gaurain-Ramecroix et au Sud par celle d'Haubourdin prolongée par celle de Rumes, elle-même relayée par la faille de Bruyelle. Malgré l'importance du rejet vertical (de l'ordre de 150 mètres), c'est le coulissage horizontal qui semble être primordial [35] .

Cette surélévation du Tournaisis constitue *une barrière hydrogéologique*, constatation qui avait permis à J. DELECOURT de subdiviser en deux branches, l'une septentrionale, l'autre méridionale, le "Grand Courant" s'écoulant dans le Calcaire carbonifère d'Est en Ouest [16].

Cette allure synclinale, visible dans la région de Namur, contraste avec l'allure franchement monoclinale observée en France. Le flanc nord repose alors sur le socle siluro-dévonien de l'anticlinal du Brabant. Le flanc sud est par contre mal connu, les terrains siluro-dévonien ayant été charriés sur le Carbonifère. Les terrains westphaliens déposés sur le Calcaire carbonifère n'ont été préservés de l'érosion que dans la partie la plus profonde du synclinorium.

En France, les seuls moyens de reconnaissance sont essentiellement les forages d'eau et les sondages houillers très nombreux dans la région. Par ailleurs, plusieurs campagnes de core-drills ont été exécutées entre 1961 et 1964 par les sociétés pétrolières CFP (M), COPESEP, RAP et SNPA* afin de préciser la signification structurale d'anomalies gravimétriques. Ces campagnes pétrolières, de même que les forages houillers et les forages d'eau, constituent une source d'information capitale qui a permis aux pétroliers d'établir une carte des terrains anté-mésozoïques (figure 3) [7]. Les limites du réservoir calcaire seront systématiquement reproduites sur chaque document présenté dans ce rapport.


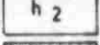

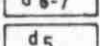
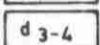

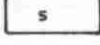

En utilisant les indications des niveaux stratigraphiques recoupés par ces core-drills et les directions de pendage mesurés sur carottes ou par pendagemétrie continue (les pendages sont d'une façon générale compris entre 0 et 15°, à l'exception du Silurien dont les couches sont affectées d'un pendage généralement très fort, égal ou supérieur à 50°), il peut être admis que l'axe de l'anticlinal paléozoïque du Mélantois prolonge la zone haute dessinée par les calcaires tournaisiens entre les failles de Gaurain-Ramecroix et de Bruyelle. Le long de cet axe, les couches remontent de Tournai vers le Mélantois puisque au point le plus haut structuralement (core-drill Li 15, indice national 14-8-023), la totalité du Dinantien calcaire est érodée sous la discordance Crétacé-Paléozoïque.

Plus à l'Ouest, au-delà d'un ensellement situé à l'aplomb de l'agglomération lilloise, le Dévonien arrive au contact du Crétacé à Haubourdin, à Lomme et près d'Armentières (sondages Ha 1, Ha 3, Qu 3 inventoriés sous les indices 14-6-185, 14-5-071, 14-1-009).

La région comprise entre le Mélantois et la bordure nord du bassin houiller dans le synclinal d'Orchies est mal connue, bien que le bord nord du bassin soit assez bien délimité par quelques sondages anciens ayant rencontré le Dinantien et que par ailleurs, la présence de Namurien sous Seclin soit un fait acquis de longue date.

* CFP : Compagnie française des pétroles
 COPESEP : Compagnie des pétroles du Sud-Est parisien
 SNPA : Société nationale des pétroles d'Aquitaine
 RAP : Régie autonome des pétroles

LEGENDE

-  Houiller
-  h 2 Viséen
-  h 1 Tournaisien
-  d 6-7 Faménien
-  d 5 Frasnien
-  d 3-4 Dévonien moyen-Givétien (Couvénien)
-  d 1-2 Dévonien inférieur
-  s Silurien

Dinantien (Calcaire carbonifère)

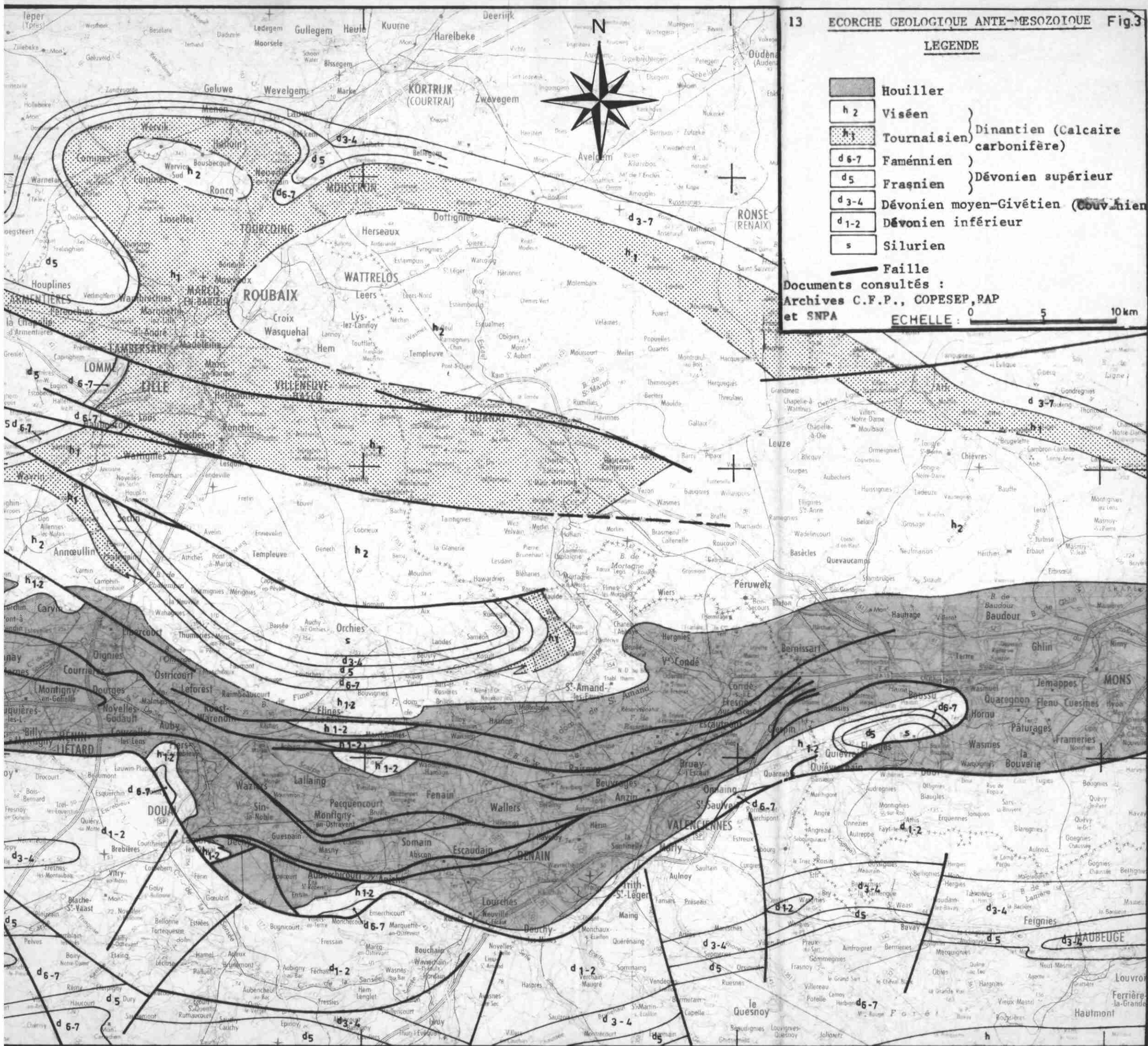
Dévonien supérieur

Dévonien moyen-Givétien (Couvénien)

— Faille

Documents consultés :
Archives C.F.P., COPESEP, RAP
et SNPA

ECHELLE : 0 5 10 km



Dans ces conditions, la zone silurienne d'Orchies mise en évidence par six core-drills (Te 3 - 20-3-5, Ra 3 - 20-8-203, Se 1 - 20-2-104, Se 2 - 20-2-105, Or 1 - 21-5-128, Or 2 - 21-6-075) constitue un fait important et laisse admettre une complexité tectonique. Cette zone est située dans le prolongement oriental de l'apophyse silurienne de Merville. Toutefois, à la différence de cette dernière, son flanc nord est faillé (faille de Seclin). On peut se demander si cette faille se prolonge en Belgique.

L'interprétation consiste à envisager, au Sud de la zone basse de Seclin, un accident chevauchant du même style que la "Grande faille du Midi", ramenant au contact du Crétacé du Silurien surmonté d'un monoclinale Dévonien-Dinantien-Houiller à plongement Sud-Ouest.

Cette bande silurienne est bordée au Nord par un compartiment effondré de l'anticlinal du Mélantois-Tournaisis, situé au Sud de la faille de Bruyelle. C'est à l'Ouest de ce compartiment qu'a été conservé le lambeau de Namurien rencontré par les sondages de Seclin.

12 - Le réservoir calcaire

La carte d'isohypse du toit du Paléozoïque dressée par P. CAULIER [1, 6] met en évidence le prolongement en France du bassin de Mons jusqu'à Raismes avec cependant un relèvement sensible de la cote -300 à -150 m NGF (figure 4). Ce bassin présente une série de dômes et de fosses qui ne sont que *le reflet des déformations affectant le Calcaire carbonifère*. Ceci est à rapprocher des quelques 298 puits naturels recoupés par les exploitations minières [8, 20]. L'origine *karstique* de ces derniers semble maintenant bien établie : l'éboulement dans le Calcaire carbonifère d'une cavité souterraine se répercute vers le haut dans les terrains houillers et ne s'arrête que lorsque le foisonnement des éboulis a pu compenser le volume du vide initial.

Deux secteurs sont à distinguer sur cette carte :

. au Nord du bassin houiller où le Dinantien est directement situé sous les terrains secondaires,

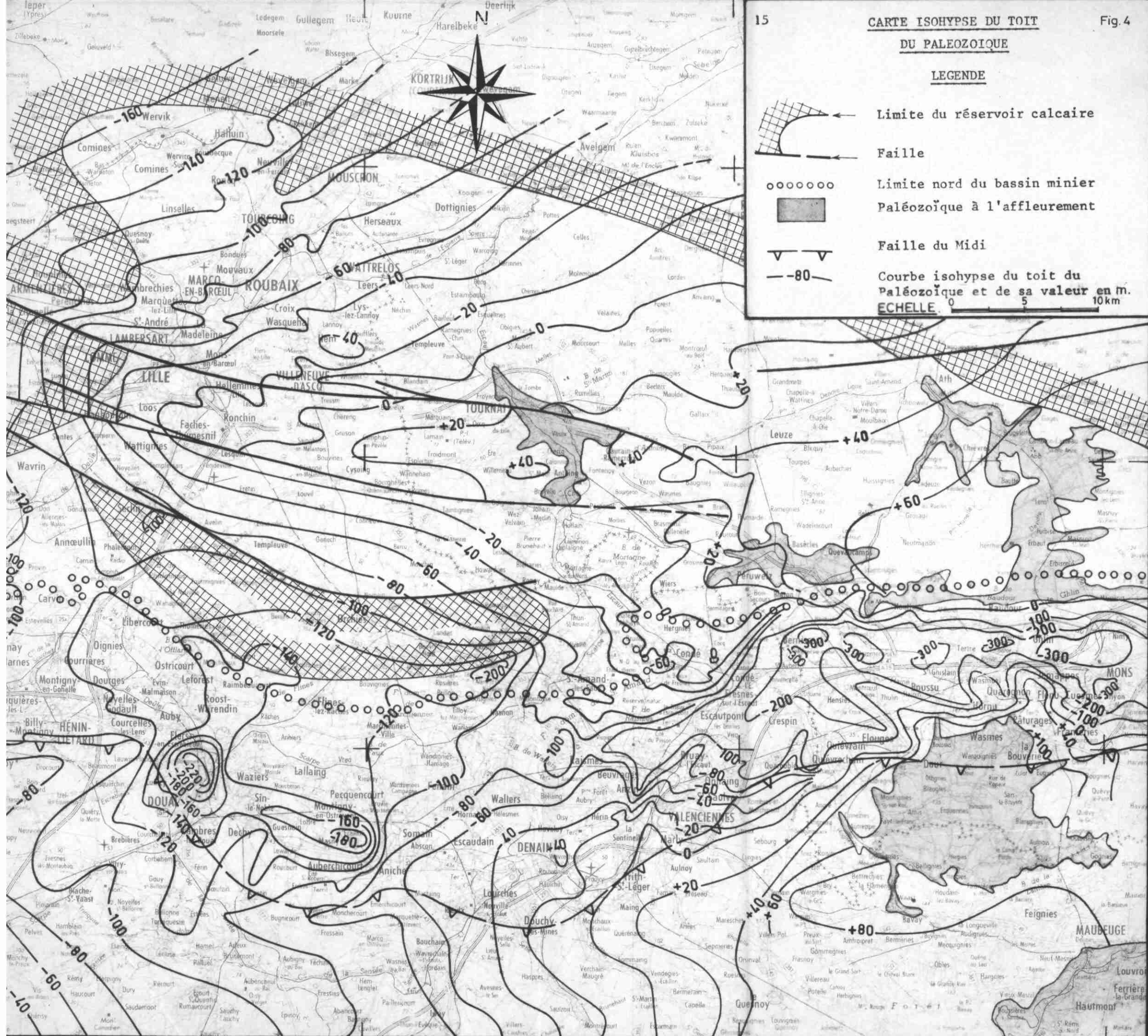
. au Sud, où le Dinantien s'enfonce sous les terrains houillers. C'est cette zone qui présente *un intérêt géothermique vu la profondeur du réservoir*. Il est impossible de définir son extension vers le Sud, le flanc sud du bassin houiller étant chevauché par des terrains dévoniens. D'après la sismique réalisée en 1962, on peut penser que le bassin de Namur autochtone présente une tectonique calme.

DU PALEOZOIQUE

LEGENDE

Limite du réservoir calcaire
 Faille
 Limite nord du bassin minier
 Paléozoïque à l'affleurement
 Faille du Midi
 Courbe isohypse du toit du Paléozoïque et de sa valeur en m.

ECHELLE 0 5 10km



Le sondage de Jeumont (indice national 30-6-005) a été implanté de façon à explorer les réservoirs potentiels dolomitiques ou gréseux du Dévono-carbonifère autochtone supposé être plus favorable à la présence d'une accumulation éventuelle d'hydrocarbures, en raison même de cette tectonique plus calme [13]. Il est important de faire remarquer les pertes observées lors de l'exécution de cet ouvrage qui montrent que *le Calcaire carbonifère est encore productif au Sud de la faille du Midi*. Ces observations sont à rapprocher de celles faites lors de la réalisation des sondages de reconnaissance de Saint-Ghislain, Douvrain et Leuze, lesquels ont recoupé les formations calcaires intensément karstifiées [19] .

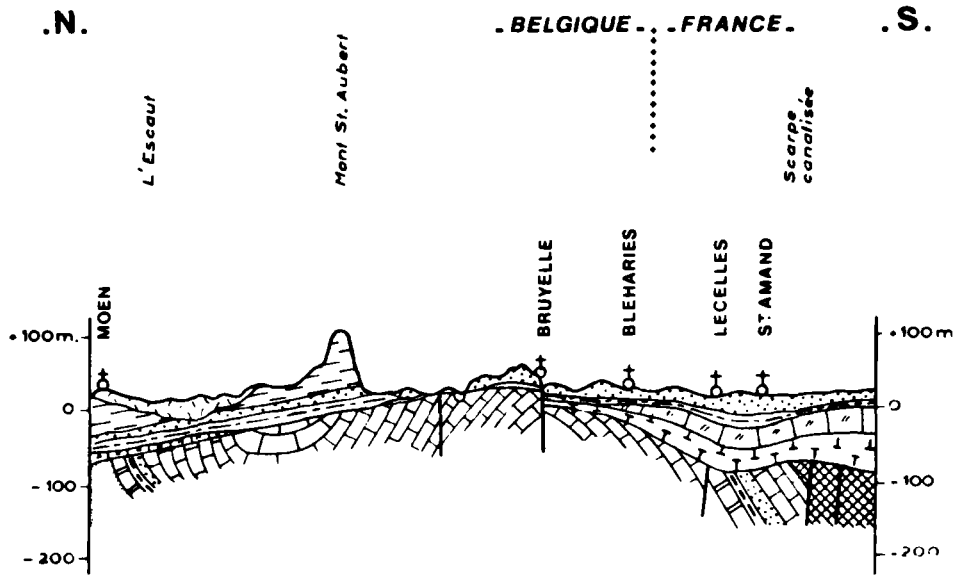
Les reconnaissances sismiques actuellement entreprises par la Société TOTAL devraient permettre de préciser, dans une certaine mesure, l'extension du réservoir vers le Sud.

Plusieurs coupes géologiques schématiques ont été dressées afin de mieux cerner la géométrie et l'extension du réservoir calcaire (figure 5). Celui-ci reconnu par de nombreux forages dans la région lilloise peut être considéré comme renfermant un aquifère continu dans la mesure où tout un réseau de fractures, de fissures, auquel s'ajoutent parfois des cavités naturelles de dissolution, l'affectent. Si dans la partie nord du réservoir, le toit du Calcaire carbonifère est connu avec précision, il n'en est pas de même sous le bassin houiller. Toutefois, l'épaisseur des terrains namuriens étant relativement constante et la tectonique assez calme, il a été possible d'*extrapoler* les isohypses du toit du calcaire à partir des dernières veines de charbon exploitées (figure 6). Celle-ci souligne la surrection du Mélantais. Sous le bassin houiller franco-belge, les terrains calcaires plongent vers le Sud et atteignent très vite dans la zone étudiée 2000 mètres de profondeur. La série d'accidents mise en évidence par l'exploitation du charbon a vraisemblablement affecté les formations calcaires. Ces failles auront pour conséquence de compartimenter dans une certaine mesure le réservoir. On peut dès lors supposer que les écoulements se feront préférentiellement dans la même direction que les accidents observés (Est-Ouest).

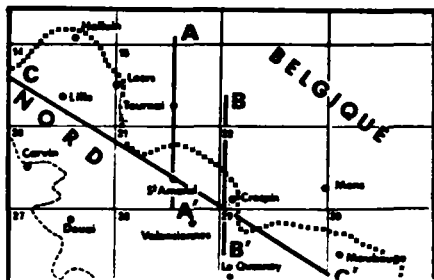
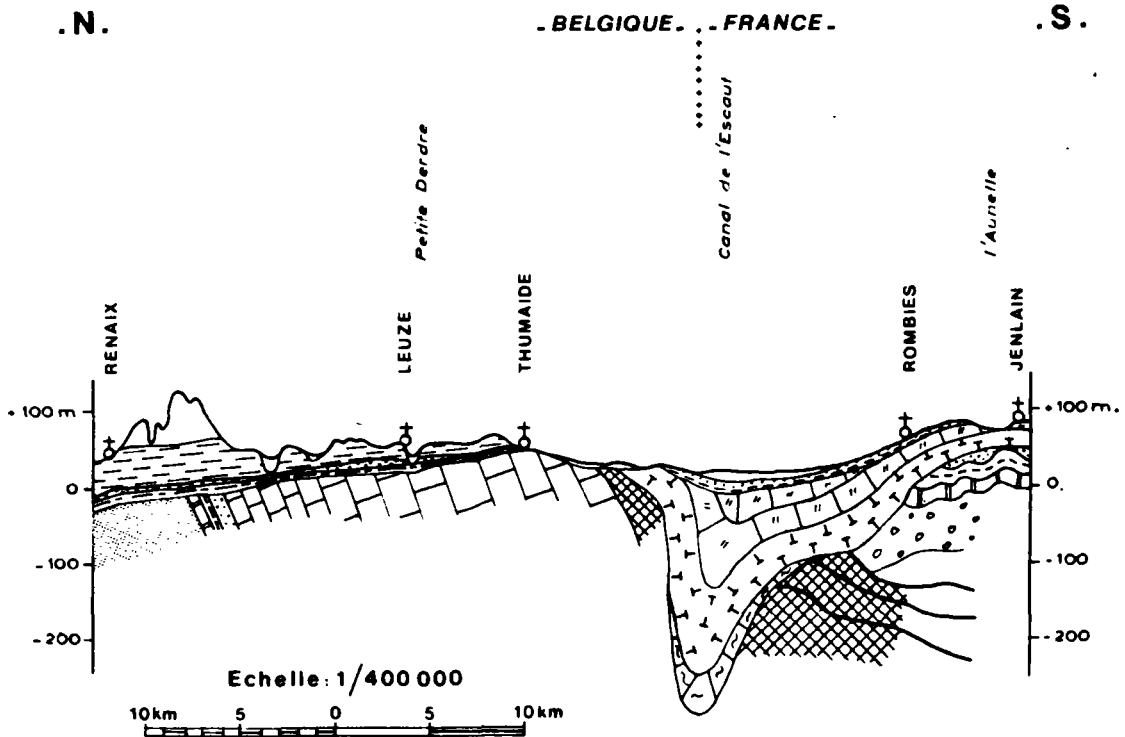
_ COUPES GÉOLOGIQUES SCHEMATIQUES _

Fig.5

_ COUPE A - A' _



_ COUPE B - B' _

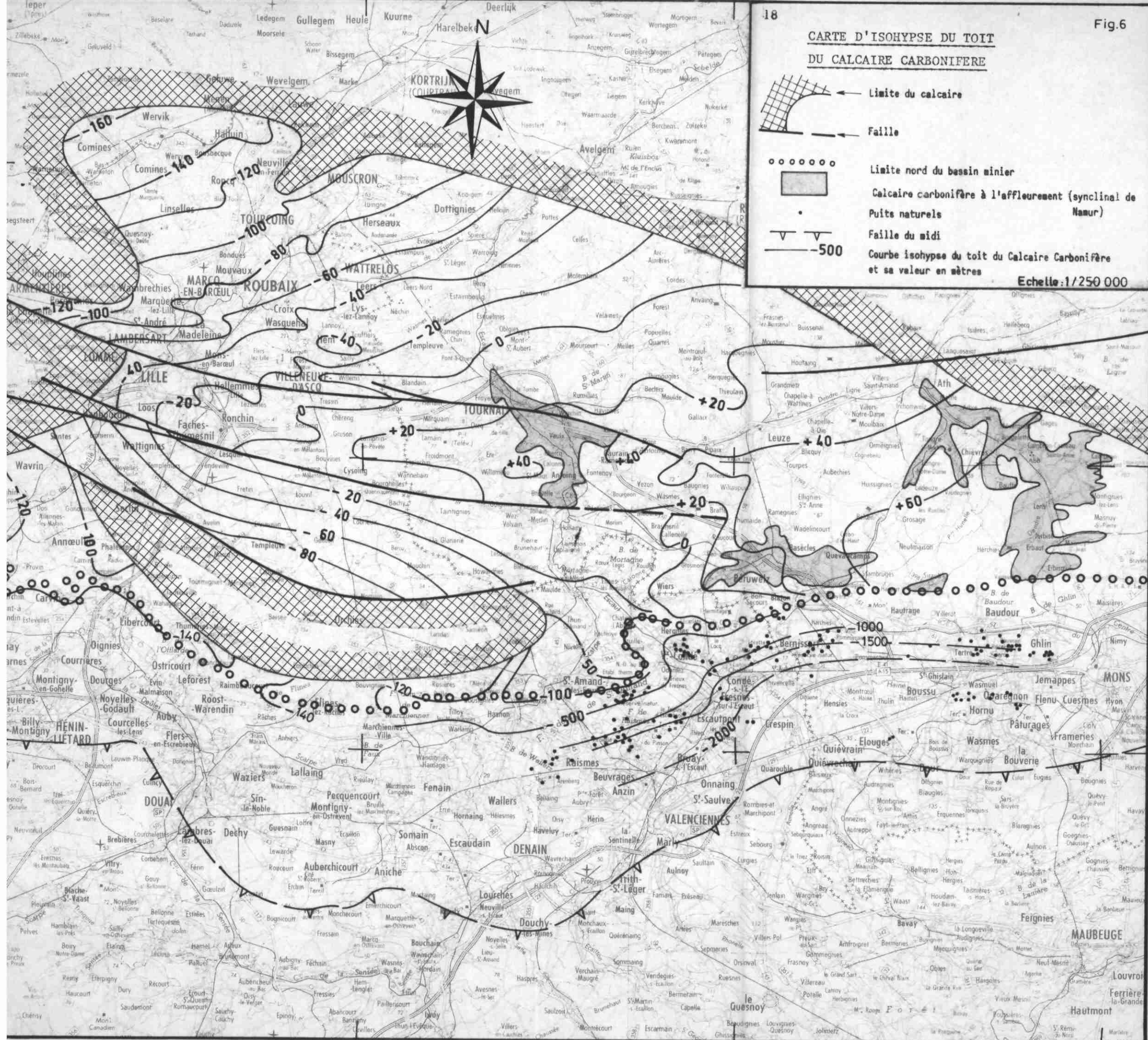


L'épaisseur des terrains a été respectée pour l'ensemble des terrains post-paléozoïques ; par contre, pour compenser la distorsion due à la différence entre les échelles horizontale et verticale, seul le style structural des terrains paléozoïques a été figuré.

CARTE D'ISOHYPSE DU TOIT DU CALCAIRE CARBONIFERE

- Limite du calcaire
- Faille
- Limite nord du bassin minier
- Calcaire carbonifère à l'affleurement (synclinal de Namur)
- Puits naturels
- Faille du midi
- Courbe isohypse du toit du Calcaire Carbonifère et sa valeur en mètres

Echelle: 1/250 000



13 - Analyse des forages profonds

. Introduction

Depuis les premières recherches de H.G. THODE [46] sur l'abondance isotopique du soufre dans les différents matériaux de l'écorce terrestre et celles de H. CRAIG (1953) sur les variations isotopiques du carbone dans les différents milieux naturels, les déterminations des rapports isotopiques $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ sont devenues d'un emploi courant en géologie et constituent autant de traceurs d'origine fort utiles dans la caractérisation de certaines conditions de dépôts des milieux sédimentaires.

En sédimentologie, les isotopes du soufre, du carbone et de l'oxygène ont souvent été utilisés comme des marqueurs stratigraphiques assimilables à des fossiles géochimiques.

A ce sujet, un certain nombre de cas concrets d'étude isotopique de sédimentologie régionale sont donnés dans la bibliographie (H.G. THODE et J. MONSTER 1965, W.T. HOLSER et J.R. KAPLAN 1966, B. BOSCH, A. MARCE et Cl. MEGNIEN 1974, G.E. CLAYPOOL, W.T. HOLSER, I.R. KAPLAN, H. SAKAI et I. ZAK 1980 pour les sulfates [48, 24, 5, 9], R.N. CLAYTON et E.T. DEGENS 1959, E.T. DEGENS et S. EPSTEIN 1964, M.L. KEITH et J.N. WEBER 1964, P. FRITZ 1972, J. PILOT, H.J. ROSLER et P. MULLER 1972, M. SCHIDLOWSKI, R.E. EICHMANN et C.E. JUNGE 1975 pour les carbonates [10, 15, 28, 23, 40, 41]). C'est sous cet angle que les échantillons de carottes des sondages profonds de Jeumont en France, de St-Ghislain et Douvrain en Belgique ont été étudiés. A Jeumont, l'étude de géochimie isotopique a porté sur des échantillons provenant du Dévonien et du Carbonifère, tandis que dans les deux autres sondages en Belgique, l'étude a été restreinte aux horizons du Calcaire carbonifère sur lesquels ont été analysés les isotopes du soufre, du carbone et de l'oxygène. Les coupes de ces forages traversant la totalité du calcaire sont condensées dans l'annexe I [32, 33] .

. Méthodes analytiques

. Carbonates

Les analyses isotopiques ont porté sur le gaz carbonique dégagé par l'attaque à l'acide phosphorique anhydre à 25°C d'échantillons de roches très finement broyés [38]. Au préalable, tous les échantillons avaient subi un traitement oxydant la matière organique (hypochlorite de sodium à 5%).

Les calcimétries et dolomimétries ont été effectuées sur chaque échantillon selon le protocole classique (calcimètre BERNARD).

. Sulfates

Les échantillons de roches dans les sondages de Jeumont et Douvrain ou d'évaporites dans le forage de Saint-Ghislain ont été réduits à l'état de sulfures par une liqueur acide [39]. Les sulfures sont transformés en gaz sulfureux dans un four en quartz à haute température et sous une atmosphère d'oxygène pur [36].

Les teneurs en sulfates ont été déterminées par méthode pondérale à partir de la réduction des sulfates par les acides.

. Expression des résultats

Les variations isotopiques en soufre, carbone et oxygène dans les composés naturels étant faibles en valeur absolue, on procède donc par mesure relative, par rapport à un étalon international de référence qui est le standard PDB pour les carbonates et le standard CDT pour les sulfates.

Dans les deux cas d'analyse, les résultats sont exprimés en unités δ qui correspondent à l'expression suivante :

$$\delta^{\circ}/\text{‰} = \left(\frac{R \text{ échantillon}}{R \text{ étalon}} - 1 \right) \times 10^3$$

avec R = rapport de l'isotope lourd sur l'isotope léger.

Les mesures isotopiques sont faites en spectrométrie de masse en phase gazeuse. L'appareil est un VG. MICROMASS 602 à double collection et double introduction. La précision analytique est de 0,1 pour mille pour les carbonates et de 0,2 pour mille pour les sulfates.

. Etude géochimique des roches des forages profonds

. Le sondage de Jeumont 1 (30-6-005)

Ce sondage [13] a successivement traversé de 0 à 2400 mètres des niveaux faisant partie du domaine charré du Bassin de Dinant et de 2400 à 4938 mètres ceux faisant partie de l'autochtone du Bassin de Namur, la Grande Faille du Midi séparant ces deux domaines. Les terrains charriés sont datés du Dévonien inférieur tandis que les formations en place vont du Carbonifère au Dévonien supérieur et moyen. Les analyses isotopiques des carbonates et des sulfates ont été effectuées sur l'ensemble des terrains paléozoïques des domaines allochtone et autochtone recoupés en sondage et les résultats sont reportés dans l'annexe II₁.

Ces résultats montrent que les séries détritiques du Dévonien inférieur situées au-dessus de la Faille du Midi ont de très faibles teneurs en carbonates et sulfates. La composition isotopique en carbone et oxygène de ces carbonates est appauvrie en isotope lourd par rapport au standard PDB qui est, rappelons-le, un carbonate marin. Cet appauvrissement isotopique est en relation avec l'origine continentale de ces dépôts. Ce caractère continental des dépôts est également marqué par les isotopes du soufre qui sont également appauvris en soufre lourd et correspondent à des traces de sulfures sans doute syndiagénétiques.

Les séries stratigraphiques situées sous la Faille du Midi correspondent au Dévonien moyen et supérieur (4315 à 4938m) et au Carbonifère (2400 à 4315m). Dès le Dévonien moyen, la sédimentation carbonatée prend place et correspond à une transgression marine discrète. La présence de termes dolomitiques dans la série lithologique témoigne d'une nature infra-littorale de ces dépôts.

Les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates suivent cette évolution paléogéographique en ayant des compositions isotopiques de carbonates marins. Par contre, les compositions isotopiques en oxygène sont encore appauvries par rapport au PDB (-7,3 à -8,5). Cette observation a déjà été signalée sur les dolomites pénédiagénétiques du Dévonien moyen du Canada [22] et il a été estimé à partir de ces résultats que les océans au Dévonien étaient plus pauvres en oxygène de 7 à 12 pour mille que les océans plus récents. Cette corrélation à l'échelle mondiale indique que les réservoirs océaniques répercutent à grande distance des variations significatives de leur composition isotopique et confirment une nouvelle fois l'intérêt des techniques

isotopiques comme *fossiles géochimiques*. En ce qui concerne les sulfates dosés dans ces couches dévoniennes, leurs teneurs sont relativement faibles et traduisent l'absence d'évaporites. De tels dépôts sont connus dans les sondages profonds situés plus au Nord : Leuze, Tournai et Annapes [21, 11].

Par contre concernant la composition isotopique en soufre, les séries calcaires du Givétien échantillonnées à Jeumont ont donné une valeur de $\delta^{34}\text{S}^{\text{‰}}$ fortement positive (+26,6) avec une augmentation de la teneur en sulfates. Ce résultat est comparable à ceux trouvés par ECKELMANS en 1968 dans son étude de géochimie isotopique des anhydrites rencontrées en sondage à Leuze et Tournai dans la formations d'Alvaux d'âge Givétien [21]. A Tournai, les termes anhydritiques supérieurs dans cette formation ont donné entre 887 et 908 m des valeurs $\delta^{34}\text{S}$ comprises entre +22,8 et +25,5. Ces variations isotopiques sont les plus fortes enregistrées au cours du Givétien dans cette région et sont comparables à celles publiées sur des évaporites d'âge dévonien dans d'autres régions du globe [47, 48, 24, 9]. Il est clair, que dans le régime laguno-marin qui existait au Givétien dans cette région, la composition isotopique du soufre apparaît comme un repère entre les séries banales carbonatées et les dépôts évaporitiques. Les autres formations du Dévonien : celle de Rouillon à la base et celle de Frasné au sommet présentent des compositions isotopiques en soufre appauvries, caractéristiques de sulfures sédimentaires souvent présents à l'état de traces de pyrite dans les environnements carbonatés ou détritiques comme ceux du Dévonien charrié.

La sédimentation carbonatée d'origine marine commencée au Dévonien supérieur se poursuit au Dinantien qui présente au sondage de Jeumont une épaisseur de 659 m (de 3656 à 4315 m) de sédiments calcaréo-dolomitiques.

Sur le plan isotopique, ces calcaires carbonifères diffèrent très peu des couches dévoniennes sous-jacentes, on observe un léger enrichissement en carbone 13 et oxygène 18 dans les couches basales et moyennes de la série et une lente évolution vers des valeurs plus appauvries dans les termes finaux de ces calcaires. Ces variations sont en relations avec la mise en place d'un régime de sédimentation plus continental au houiller (2400 à 3556 m) où les dépôts détritiques retrouvent des valeurs de carbonates déposées en milieu continental à lagunaire.

Les sulfates dosés dans le Carbonifère du sondage de Jeumont sont en faible teneur dans le Dinantien et sont légèrement plus abondants dans le Houiller. Sur le plan isotopique, on observe des oscillations de la composition isotopique en soufre entre des valeurs $\delta^{34}\text{S}$ négatives et positives et les variations sont plus fortes dans les séries détritiques du Houiller que dans les calcaires dinantiens. On doit sans doute interpréter ces oscillations du $\delta^{34}\text{S}$ comme une des caractéristiques du milieu lagunaire qui, à certaines périodes, est en contact avec le milieu continental qui lui apporte des eaux pluviales et fluviales appauvries en ^{34}S tandis qu'à d'autres périodes, il est en contact temporaire avec le milieu marin qui lui fournit des sulfates enrichis en soufre lourd qui peuvent se mélanger plus ou moins aux premiers. Les valeurs les plus fortes (+22,7) peuvent traduire qu'à certains moments le régime lagunaire s'individualise en régime entrophique riche en matières nutritives et par conséquent propice au développement d'une vie bactérienne intense qui enrichissent en ^{34}S les sulfates restant en solution.

Si on compare la composition isotopique en soufre des sulfates du Carbonifère à celles des sulfates du Dévonien, on remarque que les valeurs positives les plus fortes au Carbonifère sont inférieures aux valeurs positives les plus fortes du Dévonien. Cette constatation rejoint les résultats publiés par J. VEIZER, W.T. HOLSER et C.K. WILGUS [49] dans le cadre d'une étude statistique de 1075 échantillons d'évaporites d'âge différent et qui donnaient en composition isotopique en soufre les valeurs moyennes suivantes :

Carbonifère : +15,15 \pm 0,50 (49 échantillons),
 Dévonien : +22,62 \pm 0,37 (161 échantillons).

. Le sondage de Douvrain (139 W 352)

Les échantillons de roches analysés proviennent des carottes numérotées de 2 à 5 prises dans le Calcaire carbonifère [42]. Les résultats des analyses isotopiques sont reportés en annexe II₂.

Les compositions isotopiques des carbonates oscillent entre des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ négatives (-2,3) à des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ positives (+2,9). Ces variations isotopiques traduisent sans doute un milieu de sédimentation très littorale où les influences continentales agissent épisodiquement par l'arrivée d'eaux appauvries en carbone lourd.

Quant à l'oxygène, les compositions isotopiques sont toutes négatives et donc appauvries en oxygène 18. Cet appauvrissement est moins important dans ce sondage que dans celui de Jéumont.

A Douvrain, la série carbonatée échantillonnée a des teneurs très faibles en sulfates et leurs compositions isotopiques en soufre sont toutes négatives. Ces résultats peuvent surprendre dans la mesure où les sulfates dissous dans les eaux de la nappe carbonifère ont donné une valeur $\delta^{34}\text{S}$ de +16,5 et des teneurs en SO_4^{--} de l'ordre de 700 mg/l. La minéralisation de ces eaux en sulfates ne se fait donc pas au niveau de terrains recoupés par ce sondage.

. Le sondage de Saint-Ghislain (150 W 387)

Après avoir recoupé 125 m de Crétacé et 1635 m de Houiller, le sondage de Saint-Ghislain a rencontré une formation carbonatée caractérisée à partir de la profondeur de 1841 m par la présence d'anhydrite [18]. Ce minéral abonde jusqu'à 4308 m, c'est-à-dire pendant tout le Dinantien. Des analyses isotopiques des carbonates et des sulfates ont été faites sur l'ensemble de cette série dinantienne. Les résultats sont présentés dans l'annexe II₂. Les carbonates ont tous des compositions isotopiques en carbone positives comprises entre +0,3 à +3,5. Cet enrichissement en carbone lourd est en relation avec les conditions particulières de sédimentation des évaporites en milieu lagunaire (circulation d'eaux marines restreinte et forte évaporation). Par contre, l'échantillon de dolomie est appauvrie en carbone 13. Les compositions isotopiques en oxygène sont appauvries comme à Douvrain et les valeurs sont comparables. Les nombreux niveaux évaporitiques échantillonnés dans le sondage de Saint-Ghislain ont donné lieu à détermination de leur composition isotopique en soufre. Les résultats sont homogènes en ce qui concerne les anhydrites primaires qui sont toutes positives avec un léger enrichissement avec la profondeur, en passant de +14,0 à +18,8 en $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$. Cette évolution progressive de la composition isotopique en soufre des évaporites est connue à l'échelle mondiale [9] et apparaît clairement sur la figure 7 où l'on remarque que depuis le Dévonien supérieur jusqu'au Permien les évaporites voient leur composition isotopique en soufre diminuer progressivement.

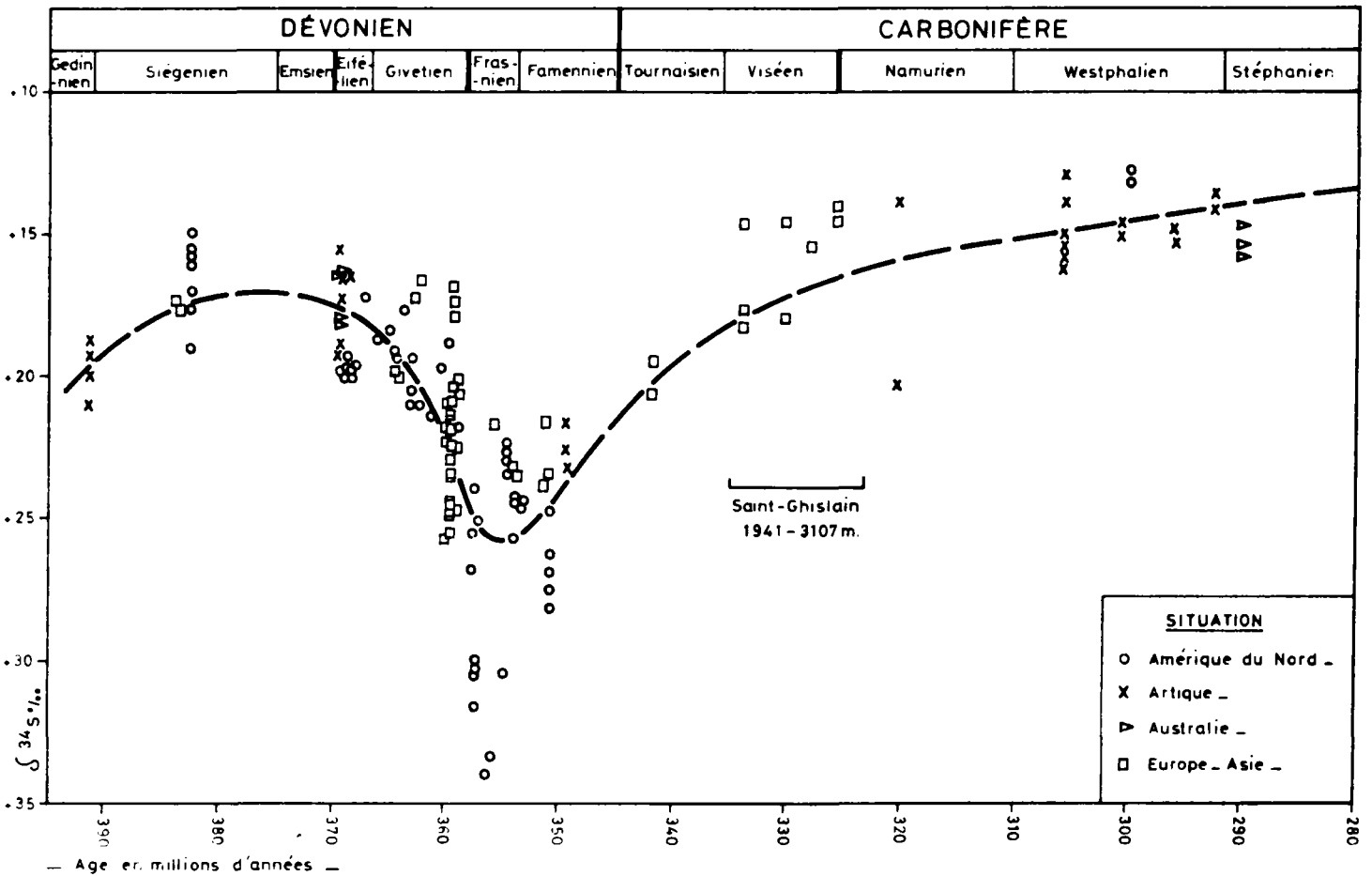


Fig. 7 : Variations de la composition isotopique en soufre des sulfates (d'après CLAYPOOL G.E. et Al. 1980)

Il est intéressant de noter que les autres minéraux contenant du soufre sous forme élémentaire ou de gypse peuvent avoir des compositions isotopiques négatives, caractéristique de processus de néo formation.

En définitive, il paraît opportun de rappeler que la répartition des isotopes du soufre dans ces évaporites dinantiennes correspond bien à la composition isotopique des sulfates dissous dans la nappe du Calcaire carbonifère [1,30].

L'étude isotopique du carbone dans les calcaires dinantiens donne pour les 3 sondages échantillonnés une répartition entre -4,3 et +3,5 avec une valeur moyenne de +0,8 pour 14 échantillons. Cette composition isotopique moyenne du carbone 13 dans le réservoir correspond bien à la valeur de +1 prise en compte pour la correction des âges ^{14}C mesurés sur les eaux thermales de St-Amand [1] dans le cadre du contrat 573-78-EGF. En conclusion, cette étude de géochimie isotopique sur les roches a permis de mettre en évidence que la composition isotopique des carbonates et des sulfates pouvait servir de *marqueurs stratigraphiques à différentes échelles*.

2- FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU RESERVOIR

Une coupe géologique (fig.8) permet de saisir les relations hydrauliques pouvant exister entre *les différentes unités hydrogéologiques*. En partant de la surface du sol, un forage recoupera plusieurs formations aquifères, dont les caractéristiques sont précisées ci-après :

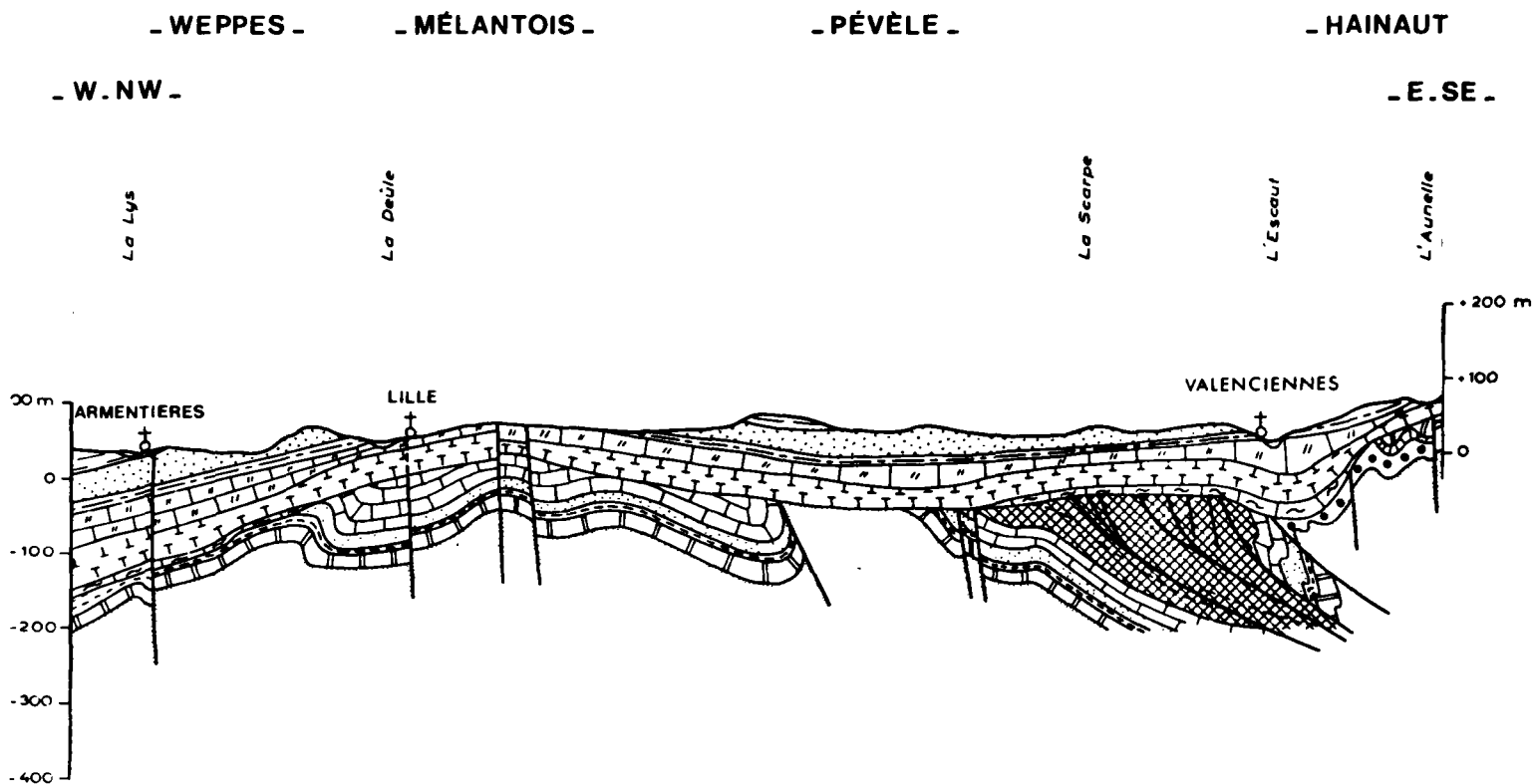
- . les Sables d'Ostricourt renfermant une nappe pratiquement inexploitée du fait même de sa faible productivité,
- . la nappe de la craie du Séno-turonien supérieur qui est, sans aucun doute, la plus importante tant par sa superficie que par sa valeur économique,
- . la nappe du Calcaire carbonifère, intensément exploitée dans le secteur de Roubaix-Tourcoing et qui constitue au Sud de Saint-Amand-les-Eaux un objectif géothermique.

Si dans la zone franco-belge de Saint-Ghislain à Saint-Amand-les-Eaux, les aquifères calcaire et crayeux sont séparés par tout le houiller, il n'en est pas de même au Nord du Bassin Minier où le Dinantien est directement situé sous les terrains secondaires. De ce fait, des échanges par drainance peuvent se produire entre eux. Un des éléments qui conditionne ces échanges est l'épaisseur des formations semi-perméables (Turonien inférieur et moyen), paramètre qui a été cartographié à l'aide des différentes coupes de forage (figure 9). Il apparaît que, dans le secteur de Valenciennes, aucun échange n'est possible, les deux aquifères étant séparés par tout le houiller.















21 - Piézométrie

La carte piézométrique de la nappe de la craie (figure 10) et celle de la nappe du Calcaire carbonifère (figure 11) rendent compte du *fonctionnement hydraulique de chaque aquifère*. Pour la nappe de la craie, on note l'existence de deux bassins hydrogéologiques situés de part et d'autre du dôme du Mélantois. Différentes explications peuvent être données quant à la présence de la vaste dépression piézométrique observée de part et d'autre de la limite nord du bassin houiller. La craie moins altérée dans ce secteur est en particulier moins transmissive. De plus, le recouvrement tertiaire empêche toute alimentation de la nappe par les eaux de pluie [43]. Par ailleurs, la majorité du flux provenant du Sud de la région est dérivée par une série de forages situés en bordure de la cuvette d'Orchies. Il n'est pas impossible qu'une grande partie des infiltrations se faisant au niveau du dôme du Mélantois contribue en fait à l'alimentation de la nappe du Calcaire carbonifère.

COUPE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE W-NW/E-SE



LÉGENDE DES COUPES HYDROGÉOLOGIQUES

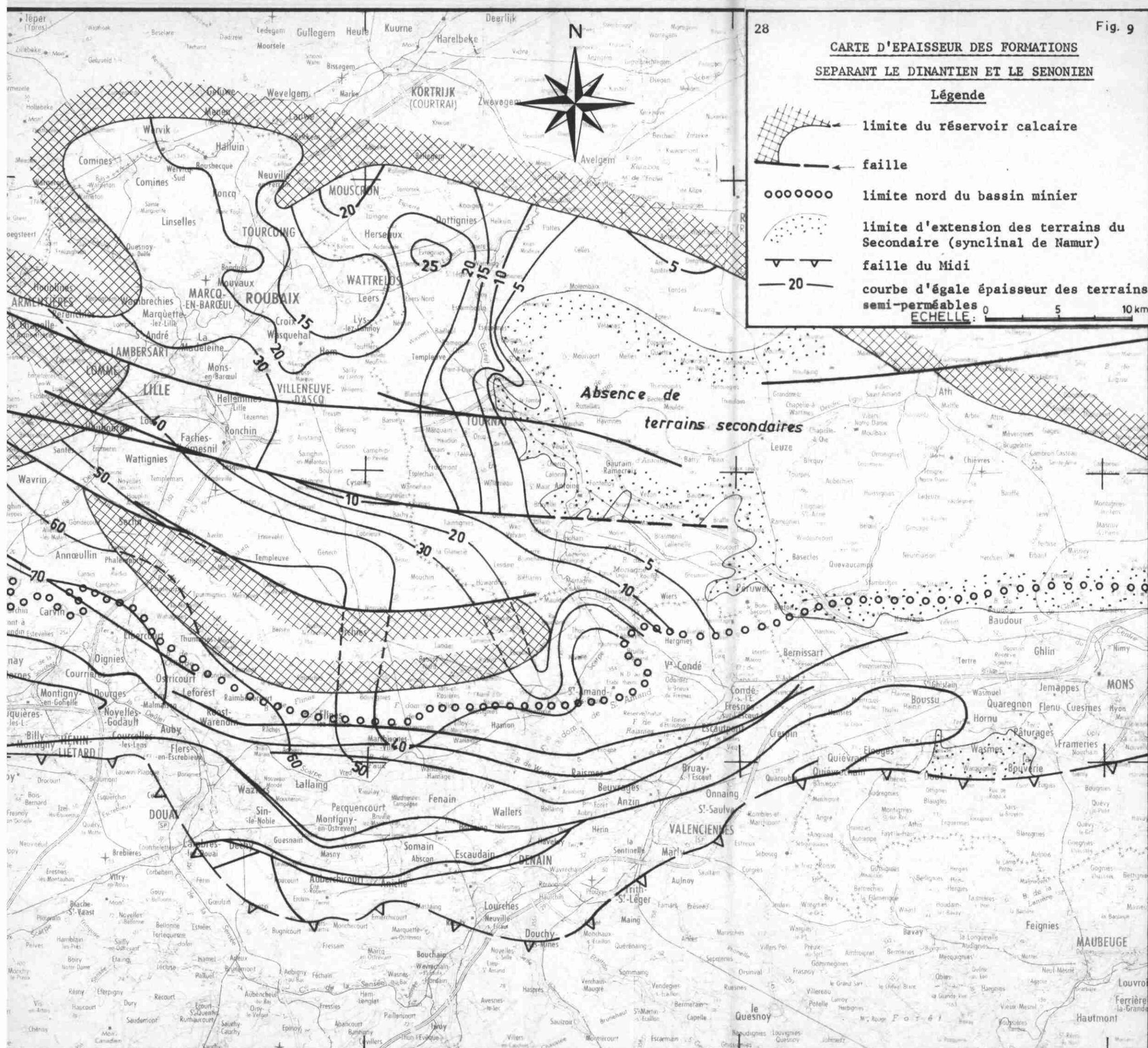
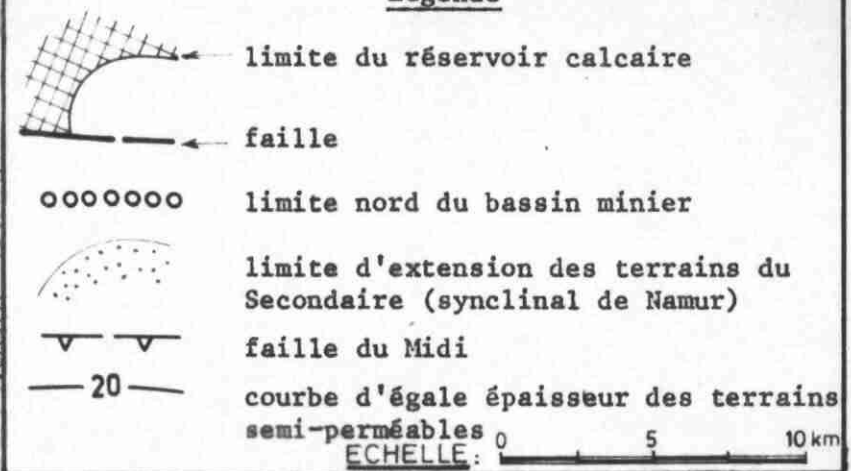
-  Sables (Flandrien) - *Nappe libre des sables pissards*
-  Argiles des Flandres (Yprésien)
-  Sables et Grès d'Ostricourt (Landénien supérieur) - *Nappe des sables tertiaires.*
-  Argile de Louvil et tuffeau (Landénien inférieur).
-  Craie blanche et craie grise (Séno-turonien) - *Nappe de la craie.*
-  Marnes crayeuses (Turonien moyen et inférieur).
-  Craie marneuse (Cénomannien) - *Nappe captive de la craie cénomannienne.*
-  Argiles du "Gault" (Albien)
-  Grès, schistes et houille (Carbonifère supérieur : Westphalien et Namurien).
-  Calcaires, dolomies et schistes (Carbonifère inférieur : Tournaisien et Viséen) - *Nappe captive du "Calcaire carbonifère".*
-  Grès, schistes et calcaires (Dévonien supérieur et moyen) - *Nappe des calcaires givétiens et frasniens, nappe des grès faméniens.*
-  Grès, schistes et calcaires (Dévonien inférieur)
-  Schistes (Silurien).
-  Faille.

Echelle: 1/400 000



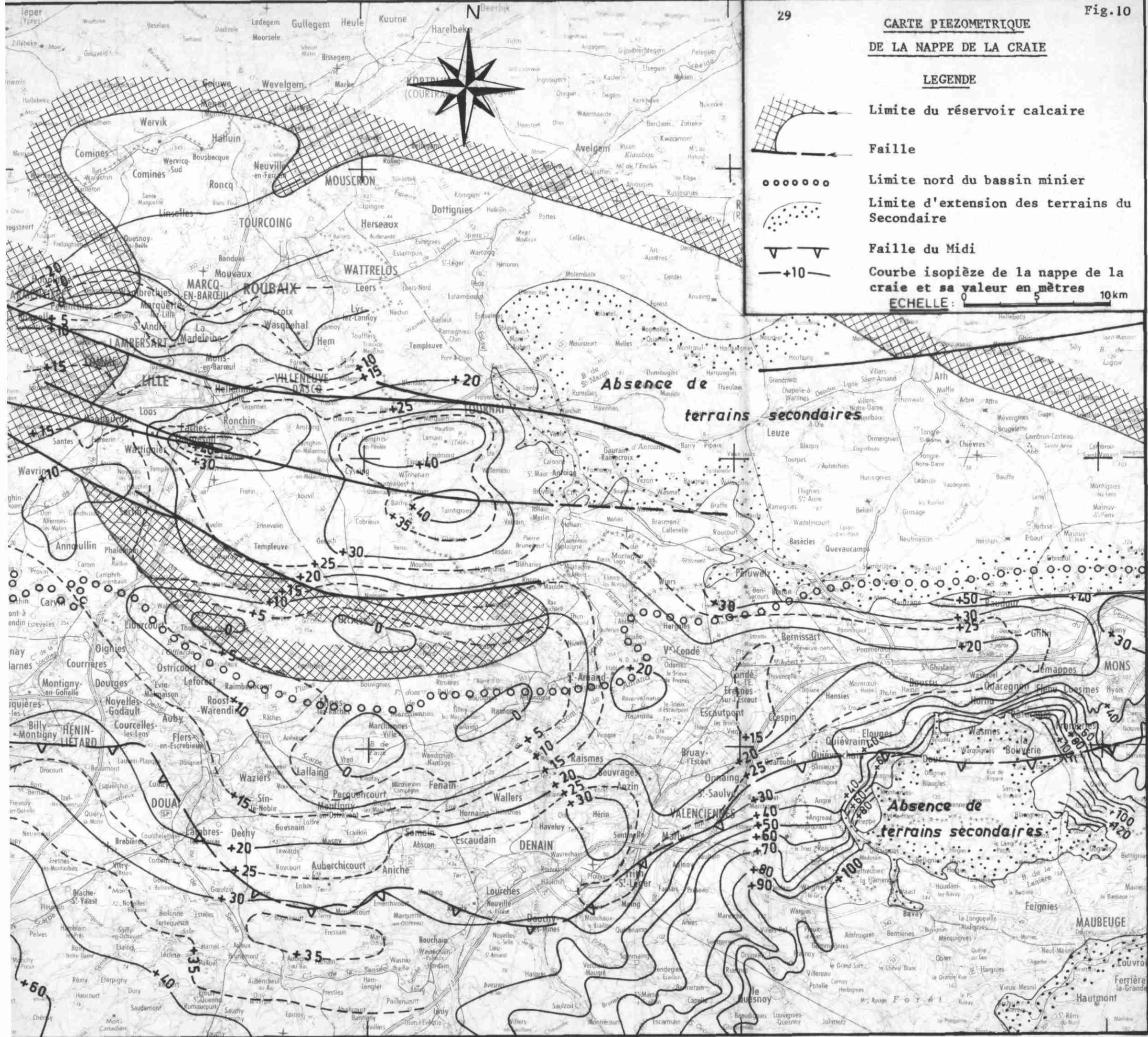
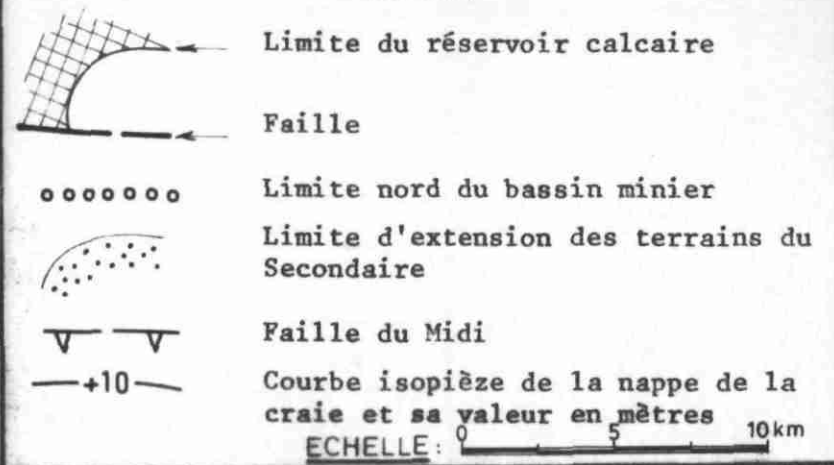
**CARTE D'ÉPAISSEUR DES FORMATIONS
SEPARANT LE DINANTIEN ET LE SENONIEN**

Légende



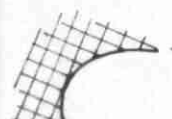
**CARTE PIEZOMETRIQUE
DE LA NAPPE DE LA CRAIE**

LEGENDE



- CARTE PIÉZOMÉTRIQUE DE LA NAPPE DU CALCAIRE -

LEGENDE



Limite du calcaire



Faille



Limite nord du bassin minier



Calcaire carbonifère à l'affleurement (synclinal de Namur)



Faille du Midi

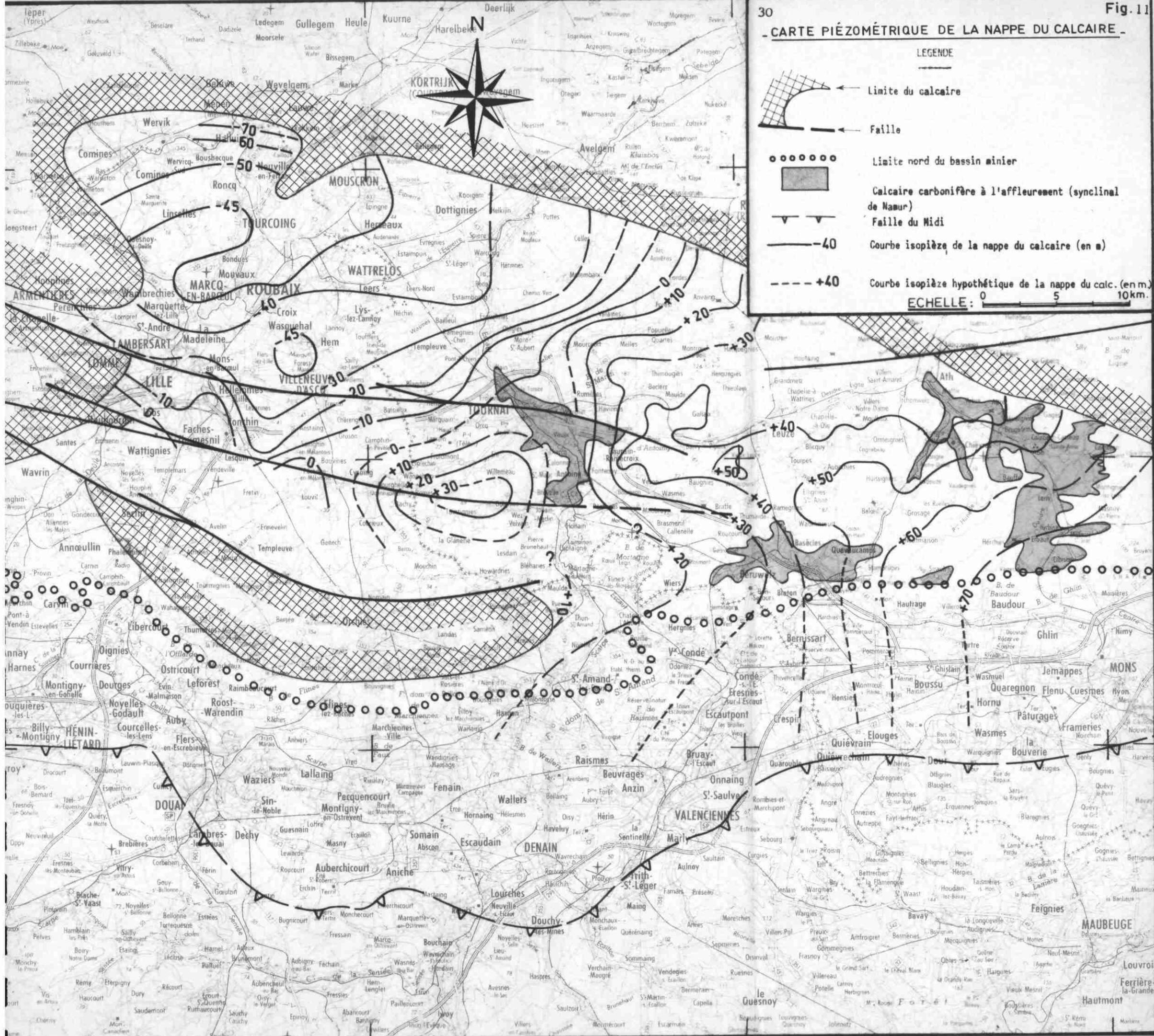


Courbe isopièze de la nappe du calcaire (en m)



Courbe isopièze hypothétique de la nappe du calc. (en m.)

ECHELLE: 0 5 10km.



La carte piézométrique de la nappe du Calcaire carbonifère a été levée en juillet 1980. En fait, si au Nord de la faille d'Haubourdin, nous disposons de suffisamment de données pour comprendre le fonctionnement hydraulique de l'aquifère, il n'en est pas de même dans la fosse de la Haine où il n'existe que quelques points permettant de mesurer la charge de l'aquifère calcaire.

La comparaison entre les mesures piézométriques faites au début du siècle et celles d'aujourd'hui montre à quel point les prélèvements ont perturbé les écoulements souterrains au Nord du bassin houiller. Il semble toutefois que le *dôme piézométrique* situé au niveau du Tournaisis se soit *maintenu*.

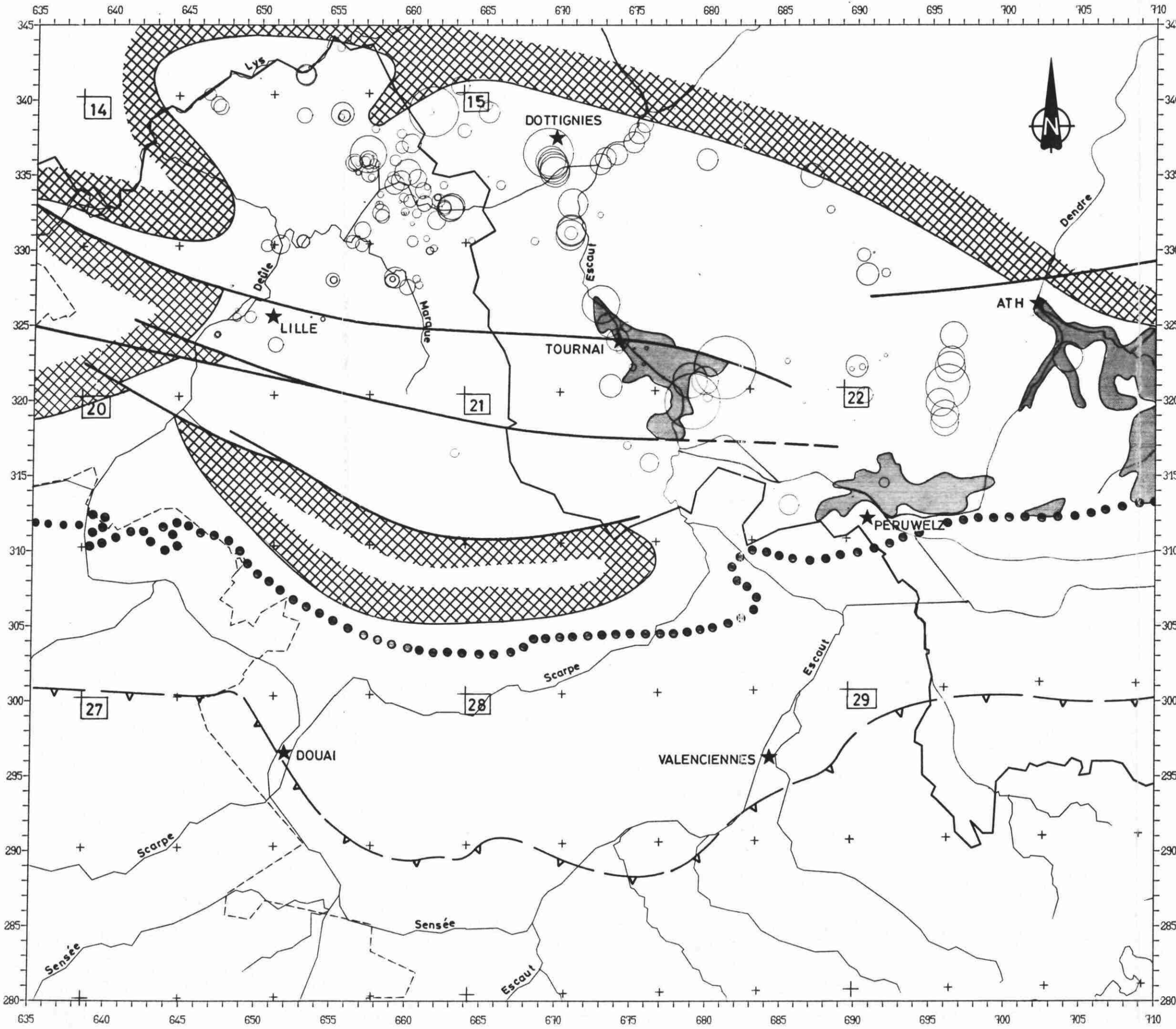
Ce dôme suit en fait les limites de bassins versants de la Dendre et de l'Escaut. En effet, comme J. DELECOURT le faisait observer dès 1936 [16], "c'est précisément au voisinage immédiat de la crête limitant au Nord les bassins hydrographiques de la Haine, du Ruisseau de Macou et de la Verne que l'on rencontre les sources importantes sortant du Calcaire carbonifère (la Fontaine bouillante à Stamburges). Ces sources de sommets ne peuvent exister que si le courant circulant dans le Calcaire carbonifère est artésien. Le relevé des niveaux piézométriques démontre que l'alimentation est orientale". Ce point a largement été confirmé par les quelques niveaux disponibles dans la fosse de la Haine (forages de Saint-Ghislain, Douvrain et Saint-Amand-les-Eaux).

Dès lors, on comprendra que le comportement hydraulique de la région de Roubaix-Tourcoing et celui de la région de Saint-Amand-les-Eaux seront fondamentalement différents dans la mesure où les prélèvements sont essentiellement situés dans le premier secteur (figure 12). Ces derniers induisent une alimentation de l'aquifère calcaire par l'aquifère sus-jacent. Ce phénomène de drainance est concevable, la nappe de la craie présentant au niveau de l'agglomération lilloise une pression de 10 à 40 mètres supérieure à celle du Calcaire carbonifère. Cette communication est d'autant plus aisée que l'épaisseur du semi-perméable va diminuant vers le Nord.

Dans la fosse de la Haine, le schéma hydraulique est différent, les deux nappes étant séparées par la totalité du Houiller. On peut toutefois observer dans la région de Saint-Amand un dôme piézométrique de la nappe de la craie, dôme qui peut être dû à un apport d'eau provenant du calcaire. Dans la mesure où ce point serait vérifié, il en découlerait que le réservoir calcaire serait bien *aquifère* et se révélerait donc *productif*.

* AQUIFERE DU CALCAIRE CARBONIFERE : PRELEVEMENTS EN 1979 *

Fig. 12



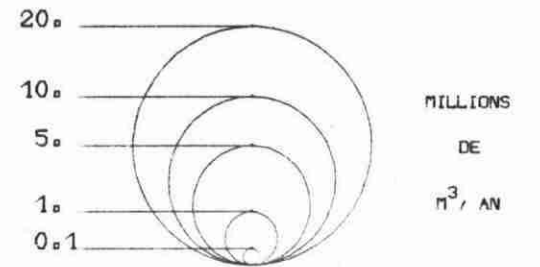
LEGENDE






ECHELLE : 1 / 250000

VOLUME PRELEVE : $Q = 2.0 D^2$

Q EN MILLIONS DE m^3/AN

D, DIAMETRE DU CERCLE EN CM



-  Limite du calcaire
-  Faille
-  Limite nord du bassin minier
-  Calcaire carbonifère à l'affleurement (synclinal de Namur)
-  Faille du Midi

22- Transmissivités

Ne disposant que de quelques valeurs de transmissivités, les résultats d'essais de courte durée généralement donnés dans les archives sous forme de couples débits-rabattements ont été exploités pour analyser la répartition spatiale de ce paramètre qui oscille entre 5.10^{-6} et 7.10^{-1} m³/s.m (figure 13) avec une moyenne de 10^{-2} m³/s.m.

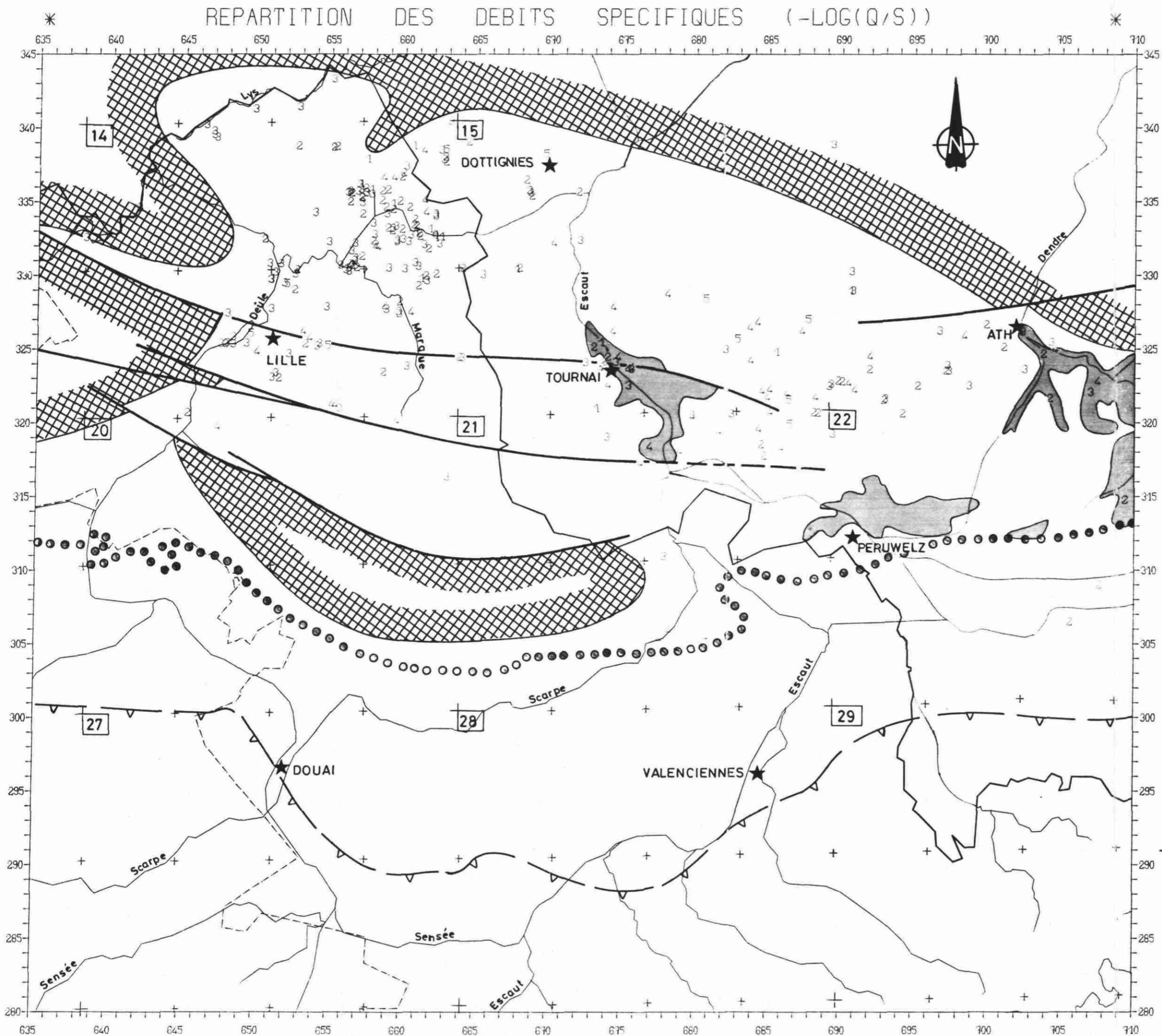
L'examen approfondi par le Service géologique régional Nord Pas-de-Calais de l'ensemble des données hydrogéologiques actuellement disponibles [4, 44, 45] a conduit à la construction et à la mise au point d'un modèle mathématique du complexe craie-Calcaire carbonifère [12] par le Centre Informatique Géologique de l'Ecole des Mines de Paris. La reconstitution des fluctuations piézométriques de l'aquifère calcaire depuis 1969, date où la connaissance des débits extraits dans ce dernier est suffisante, a permis l'identification des différents paramètres hydrogéologiques. Ceci nous amène à faire remarquer que la nappe du Calcaire carbonifère qui présente indéniablement certaines caractéristiques d'aquifère *karstique* peut néanmoins être valablement modélisée avec les équations du milieu poreux.

Ce modèle s'étend, au Nord et à l'Ouest, jusqu'aux limites du réservoir, à l'Est jusqu'à la Dendre et au Sud jusqu'à la faille de Seclin prolongée en Belgique par la bordure nord du bassin houiller. Les transmissivités résultant de l'ajustement de ce modèle sont comprises entre 10^{-3} et 5.10^{-2} m²/s, les valeurs les plus faibles étant situées entre la faille d'Haubourdin et celle de Seclin.






23 - Porosité

La *porosité* est obtenue soit à partir de mesures sur des échantillons prélevés dans les forages pétroliers, soit par calcul d'après les diagraphies différées. Ce paramètre n'a été mesuré que sur le forage JEUMONT 1 (indice national 30-6-005). Le Dinantien se présente sous forme de calcaires et dolomies dont les porosités, déduites des logs et confirmées par les mesures sur carottes, sont inférieures à 5% et 8% respectivement. L'existence de zones perméables a ici été prouvée, en particulier entre 3765 et 3871 m (production d'eau douce lors d'un essai de vidange du puits à l'air) et à 3926 m dans des dolomies où des pertes partielles de circulation ont eu lieu.

Fig. 13



LEGENDE

-  Limite du calcaire
-  Faille
-  Limite nord du bassin minier
-  Calcaire carbonifère à l'affleurement (synclinal de Namur)
-  Faille du Midi

Echelle : 1/250 000

Lors du calage du modèle pré-cité, le coefficient d'emmagasinement prend des valeurs très différentes selon que l'aquifère est libre ou captif. En nappe libre, ce paramètre qui oscille entre 1% et 6% peut être assimilé à la porosité efficace.

3 - L'EAU : UN TRACEUR HYDROLOGIQUE NATUREL

Dans la mesure où l'aquifère crayeux est à même de fournir d'importants débits, l'aquifère calcaire plus profond n'a été atteint que dans le secteur où la nappe du Séno-turonien se révèle peu productive. Dans la zone qui nous intéresse plus particulièrement (Hainaut), le Calcaire carbonifère n'a été reconnu que par quelques forages mal répartis spatialement. Ces derniers montrent toutefois que la nappe du Calcaire carbonifère présente une charge supérieure à celle de la craie. Sous l'effet des pompages, ce gradient hydraulique vertical s'est inversé dans la région de Roubaix-Tourcoing.

Quoiqu'il en soit, les deux aquifères présentant des charges inégales, on doit pouvoir constater la présence de mélanges entre des eaux d'origine différente et confirmer, à partir d'analyses chimiques et isotopiques, les mécanismes hydrogéologiques précédemment évoqués. En effet, dans la mesure où il existe des transferts de masse entre les aquifères crayeux et calcaire, l'eau contenue dans chaque réservoir peut être utilisée comme traceur hydrologique naturel. Ces transferts seront autant d'indices susceptibles pour montrer que le réservoir calcaire est productif en profondeur.

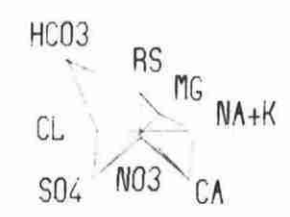
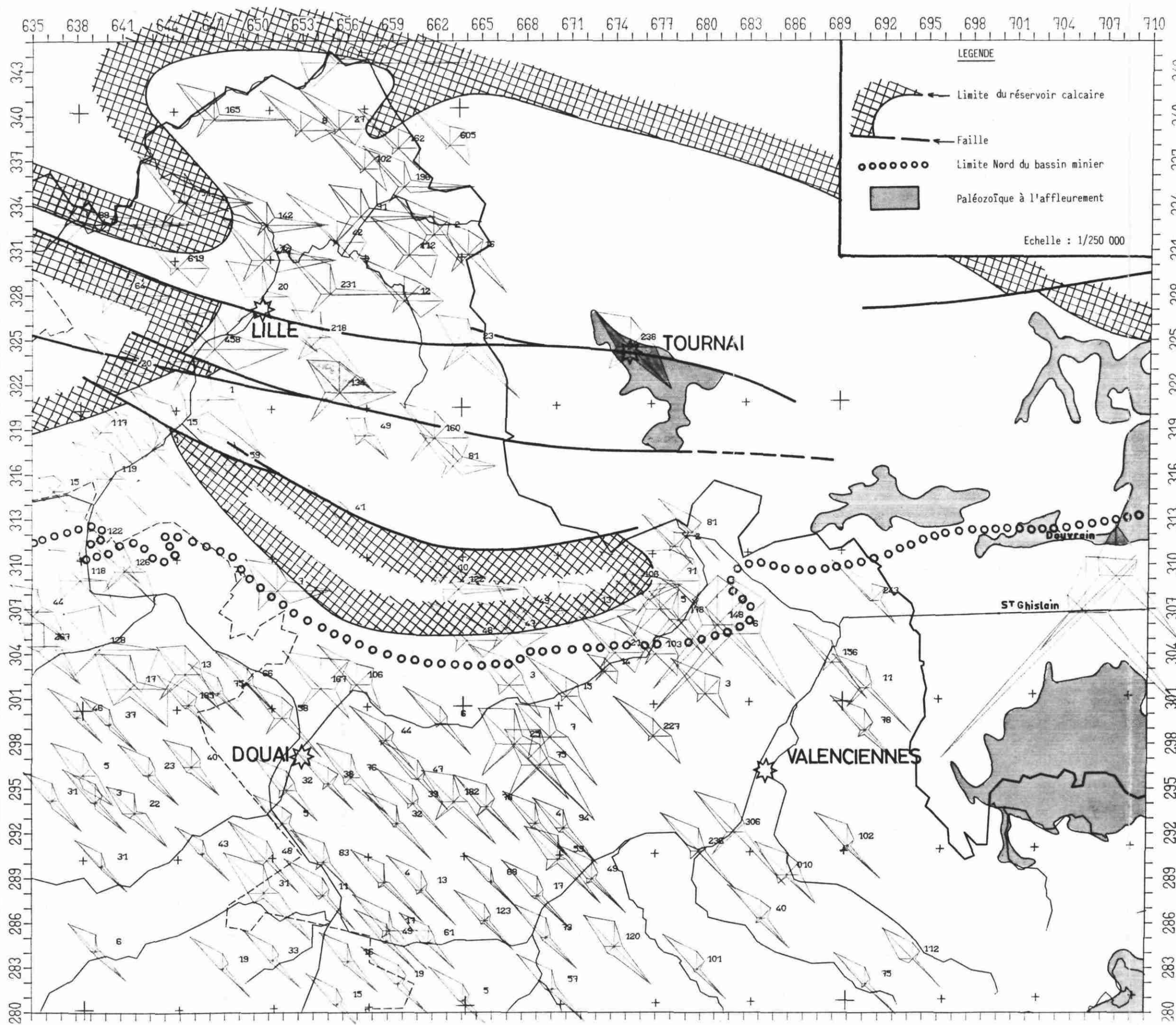
A l'occasion de différentes études entreprises par le Service géologique régional Nord Pas-de-Calais, un grand nombre d'échantillons a été prélevé et analysé. L'ensemble des renseignements ainsi obtenus a permis de classer les eaux souterraines en plusieurs grands groupes suivant leur origine. Les analyses réalisées dans le cadre de cette étude ainsi que les résultats obtenus dans le cadre du précédent contrat (n° 573-78 EGF) ont été replacées dans un contexte hydrogéochimique beaucoup plus général [1, 2, 3, 4].

31 - Représentation spatiale du chimisme des eaux

La figure 14 permet de comparer rapidement le faciès chimique des eaux prélevées dans les aquifères calcaire et crayeux. Chaque analyse condensée dans l'annexe III est ici présentée sous forme d'une rosette dont la longueur des huit branches est proportionnelle aux concentrations ioniques des éléments majeurs exprimées en milli-équivalents et de la minéralisation totale.

MISE EN EVIDENCE DU FACIES CHIMIQUE DES EAUX ANALYSEES

Fig.14
36.



Cette figure met en évidence qu'en règle générale le faciès de l'eau de la craie est franchement bicarbonaté calcique. Toutefois, la bordure nord du bassin minier ressort par son faciès bicarbonaté sodique ou parfois même sulfaté calcique (région de Saint-Amand).

Les caractéristiques chimiques de la nappe du Calcaire carbonifère sont plus variées avec des faciès allant du bicarbonaté calcique ou sodique au sulfaté calcique ou sodique.

Au Sud de la zone étudiée, aucune relation n'est possible entre les aquifères crayeux et calcaire. Les points échantillonnés dans ce secteur permettent donc d'avoir *un état représentatif de chaque aquifère*. Dans cette zone servant de référence, les eaux de la nappe du Calcaire carbonifère présentent un faciès franchement sulfaté calcique alors que celles de la nappe de la craie sont bicarbonatées calciques (figure 15).

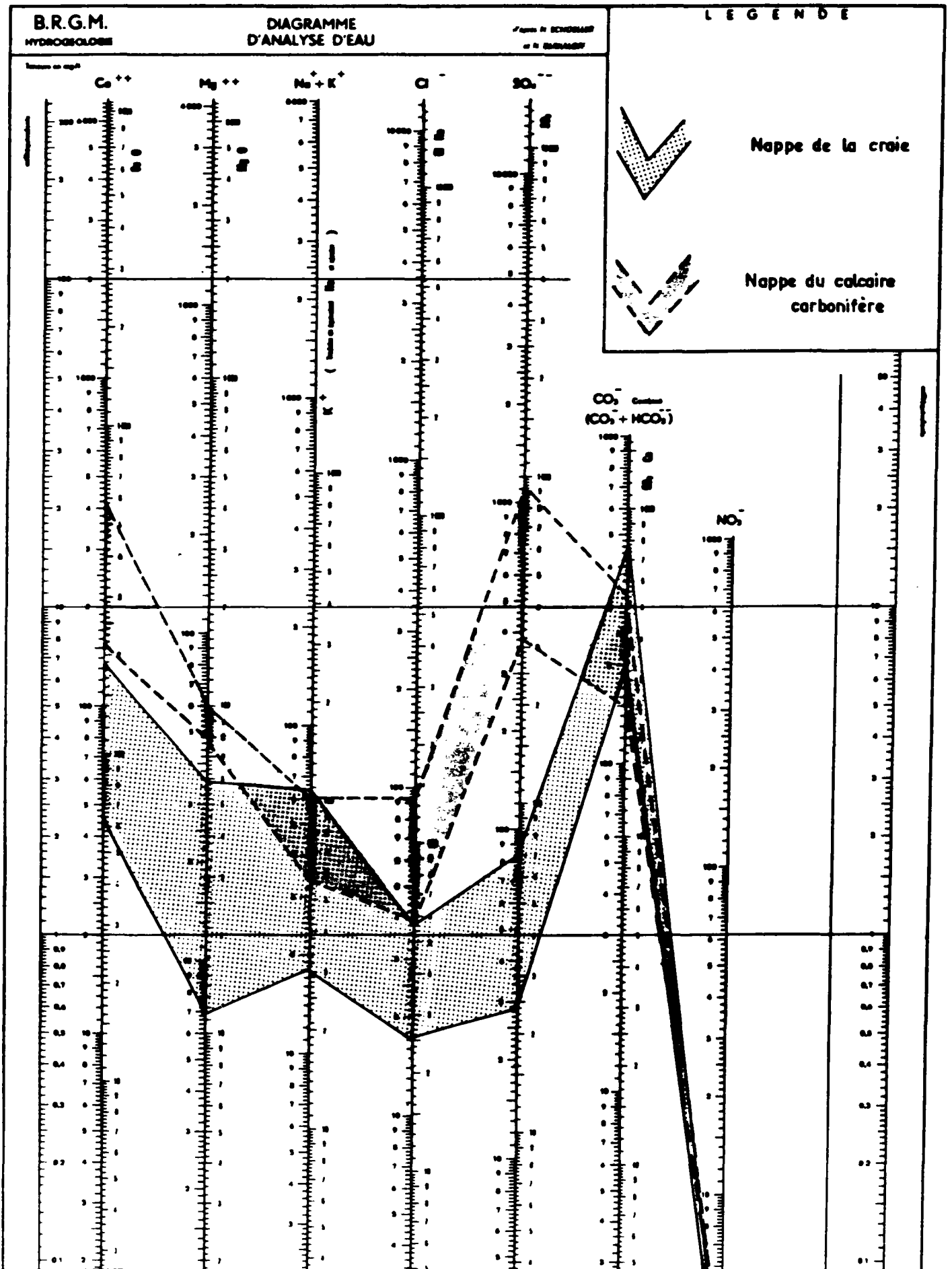
A titre indicatif, nous avons représenté sur la figure 16 les diagrammes d'analyses d'eaux rencontrées dans d'autres formations. Les venues d'eau observées dans le Namurien* (Grès de Suchemont) possèdent un faciès généralement sulfaté sodique, celles arrivant dans le Westphalien sont chlorurées ou sulfatées sodiques (résidu sec pouvant atteindre 10 g/l).

On remarque sur cette figure la ressemblance entre le faciès des eaux du Calcaire carbonifère et celui des Grès de Suchemont. Ce type de minéralisation des eaux des forages captant le Calcaire carbonifère est ici dû à la dissolution de l'anhydrite (Ca SO_4) recoupée par certains forages profonds (Saint-Ghislain notamment). L'épaisseur maximale de ces évaporites serait atteinte dans la fosse de la Haine. La dissolution ou le déplacement de ces masses plastiques expliquerait l'origine du bassin crétacique de la vallée de la Haine [17].

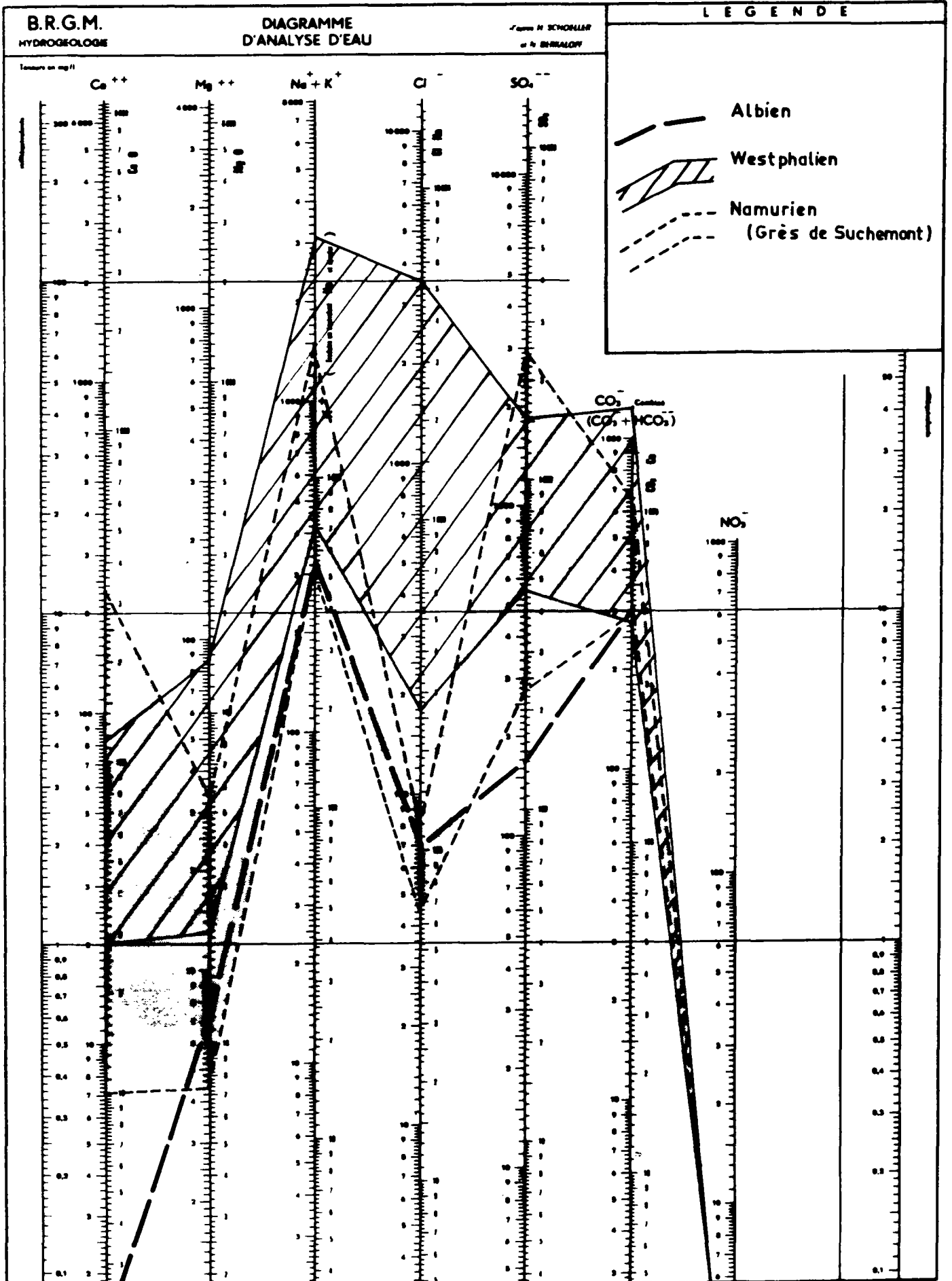
L'absence de suivi géologique lors de l'exécution des ouvrages réalisés dans le synclinal de Roubaix n'a pas permis d'observer dans ce secteur de telles formations. Signalons toutefois que le forage d'Annappes (indice national 14-8-257) présente aussi des passées d'anhydrite de moindre importance dans le Givétien (figure 17).

* Nous tenons à remercier Monsieur CHALARD pour le temps qu'il a bien voulu nous consacrer afin de rassembler certains renseignements collectés par les Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais.

FACIES CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

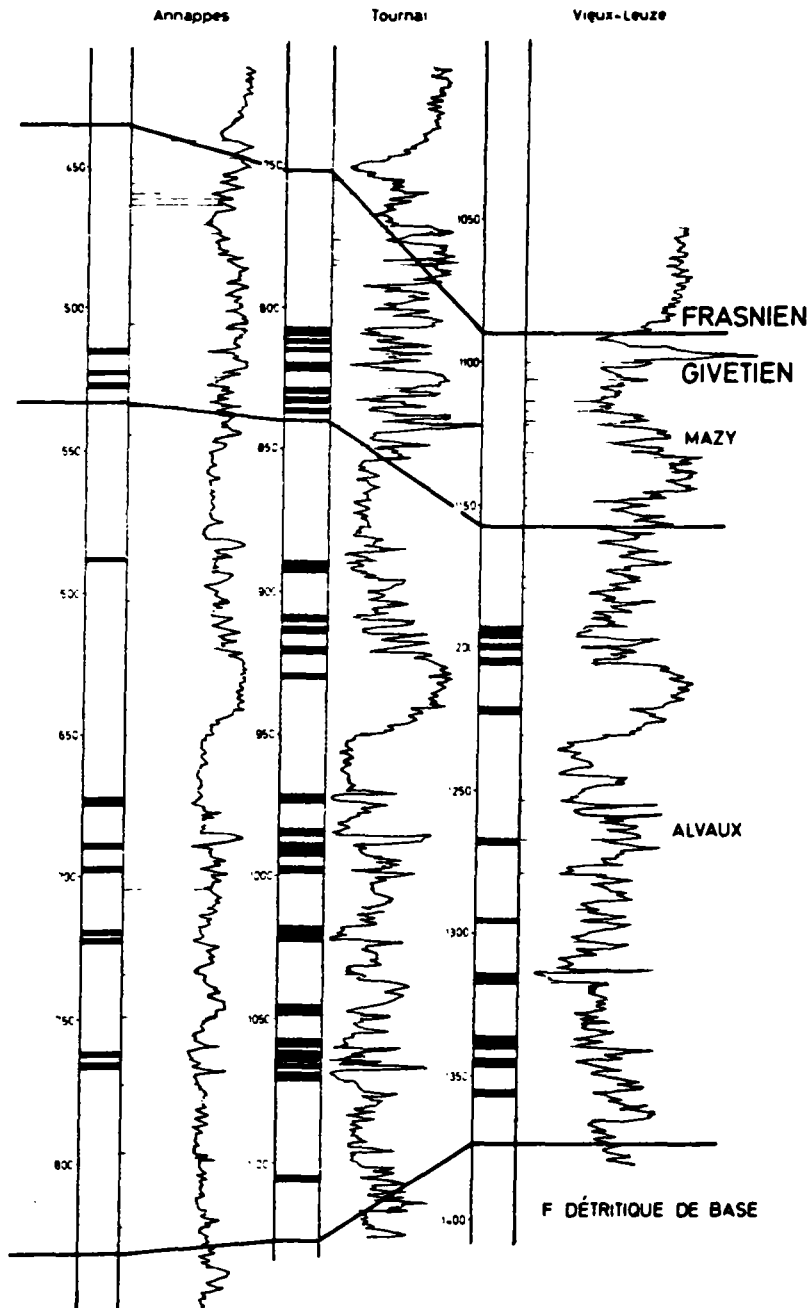


FACIES CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES
RENCONTREES DANS DIFFERENTES FORMATIONS



LE GIVETIEN

GAMMA-RAY ET NIVEAUX D'ANHYDRITE



d'après documents Service Géologique de Belgique
Total - C.F.P

32 - Recherche des différentes familles hydrochimiques

On se propose d'étudier la répartition statistique de la valeur d'un ion sur l'ensemble des analyses mémorisées. Dans la zone d'étude, nous disposons de plus de 171 analyses complètes dont 33 sur les eaux du Calcaire carbonifère.

Pour chaque élément étudié, l'ajustement de la répartition des teneurs selon une loi gaussologarithmique permet de déterminer l'existence de familles hydrochimiques. Dans le cas présent, notre attention se portera principalement sur certains éléments permettant de distinguer les eaux spécifiques de la nappe de la craie de celles représentatives de la nappe du Calcaire carbonifère.

Cette distinction sera d'autant plus délicate que des échanges existent entre les deux aquifères.

D'une manière générale, lorsqu'on possède un grand nombre de valeurs d'un même paramètre, on peut effectuer des comparaisons entre la moyenne de ce paramètre et chacun d'entre eux. Cette méthode ne permet pas toutefois de mettre en évidence la coexistence de plusieurs séries de valeurs. Pour ce faire, il faut admettre que le paramètre étudié suit une certaine loi de distribution. On peut alors isoler chaque sous-ensemble suivant cette loi dans l'échantillonnage.

. Résidu sec

Tous aquifères confondus la moyenne de ce paramètre s'élève à 650 mg/l. Si on ne considère que les eaux prélevées dans la nappe du Calcaire carbonifère, celle-ci dépasse 778 mg/l. En fait, dans la zone de référence, cette moyenne s'élève à 1265 mg/l (calculée seulement à l'aide de 6 analyses).

La construction d'un diagramme gaussologarithmique permet de distinguer deux séries d'analyses homogènes. Les points représentant celles-ci se répartissent sur deux droites parallèles décalées dans l'échelle des teneurs. La première famille présente un résidu sec inférieure à 550 mg/l, elle doit être considérée comme étant représentative de la nappe de la craie (au Sud de la Scarpe). La seconde famille regroupe des analyses d'eaux prélevées dans le secteur de Saint-Amand.

Entre ces deux populations, on observe une zone de transition qui peut déjà laisser suspecter des échanges entre aquifères (figure 18).

. Anions

Parmi ces derniers, ce sont les sulfates et les chlorures qui présentent les meilleures corrélations avec le résidu sec (respectivement égale à 0,90 et à 0,71). De ce fait, il est intéressant d'analyser ces paramètres afin de définir la teneur moyenne de chacun de ces ions dans chaque aquifère.

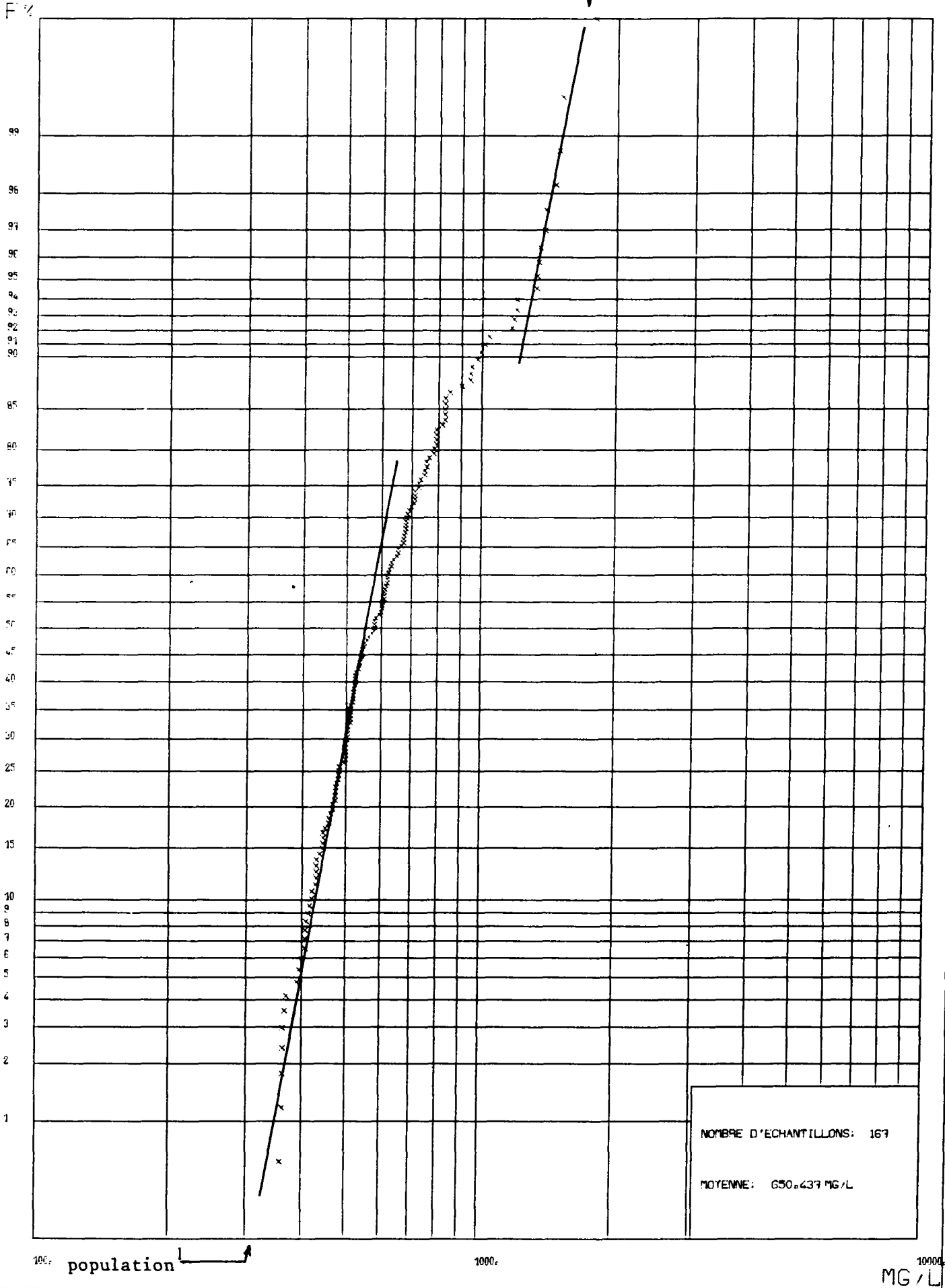
Dans la nappe de la craie, le fond géochimique en sulfates et en chlorures peut être considéré comme étant respectivement égal à 30 mg/l et à 20 mg/l. Dès lors, on peut se demander pourquoi la moyenne observée dans cet aquifère s'élève à 109 mg/l de sulfates et à 45 mg/l de chlorures (calcul effectué sur 138 échantillons).

Le même calcul fait sur les analyses d'eaux des forages captant le Calcaire carbonifère donne 239 mg/l de sulfates et 47 mg/l de chlorures (sur 33 échantillons).

En considérant l'ensemble des aquifères captés, cette moyenne varie sensiblement en particulier pour les sulfates (134 mg/l pour SO_4^{--} et 45 mg/l pour Cl^-) (figures 19 et 20). Les concentrations de cet ion varient entre 4 et 1310 mg/l. Le point de brisure de la droite de Henry correspond à une concentration de 150 mg/l ; 30% de l'échantillonnage ont des teneurs supérieures à cette valeur. Une analyse plus fine des résultats indique que parmi cette famille ainsi définie sont présents 50% des ~~eaux~~ **eaux** prélevées dans la nappe du Calcaire carbonifère.

DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: RS

Nappes de la craie et du Calcaire carbonifère population 2



Secteur de Saint-Amand

nappe de la craie non influencée

DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: SO4--

Fig. 19

Nappes de la craie et du Calcaire carbonifère

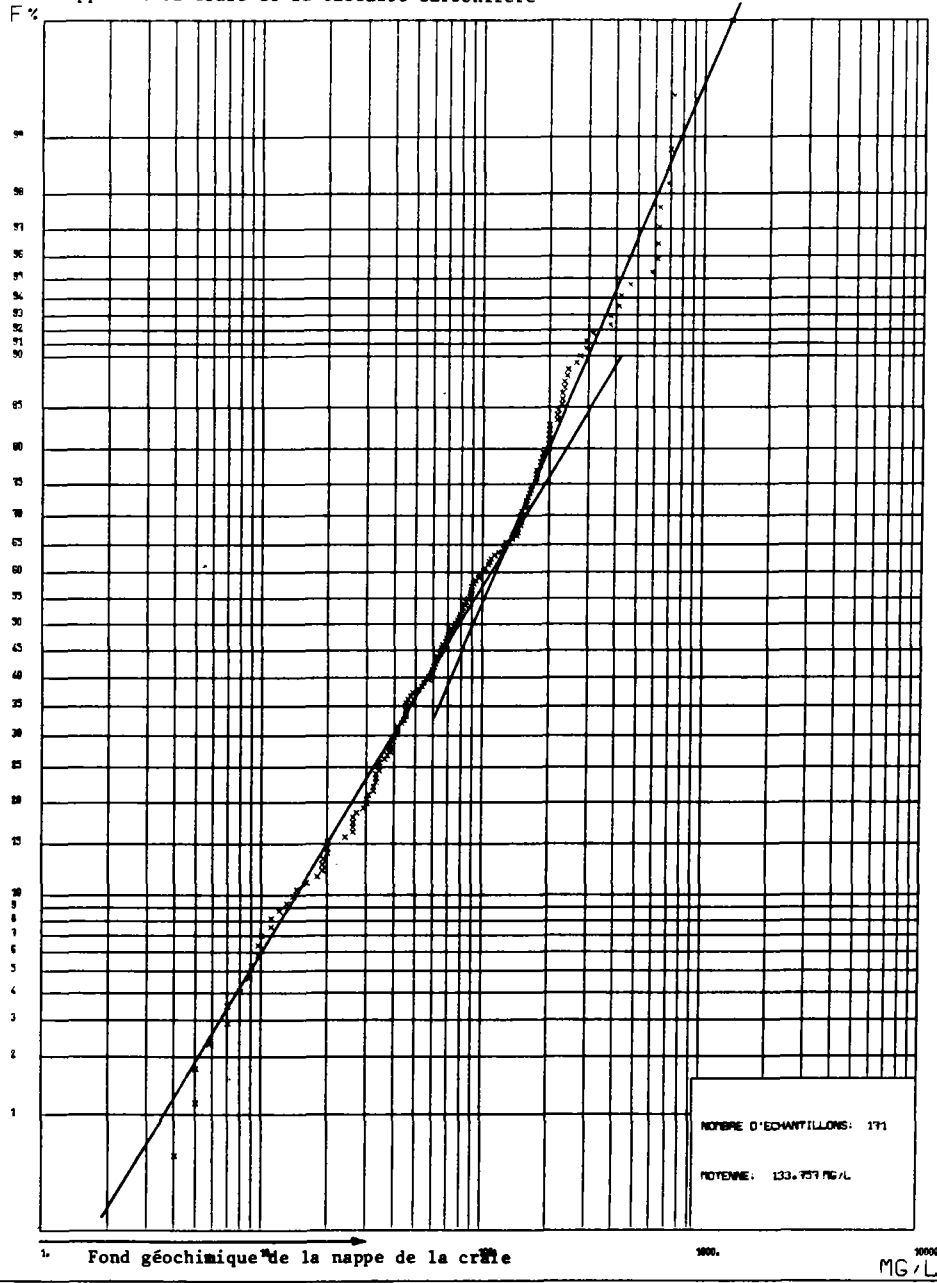
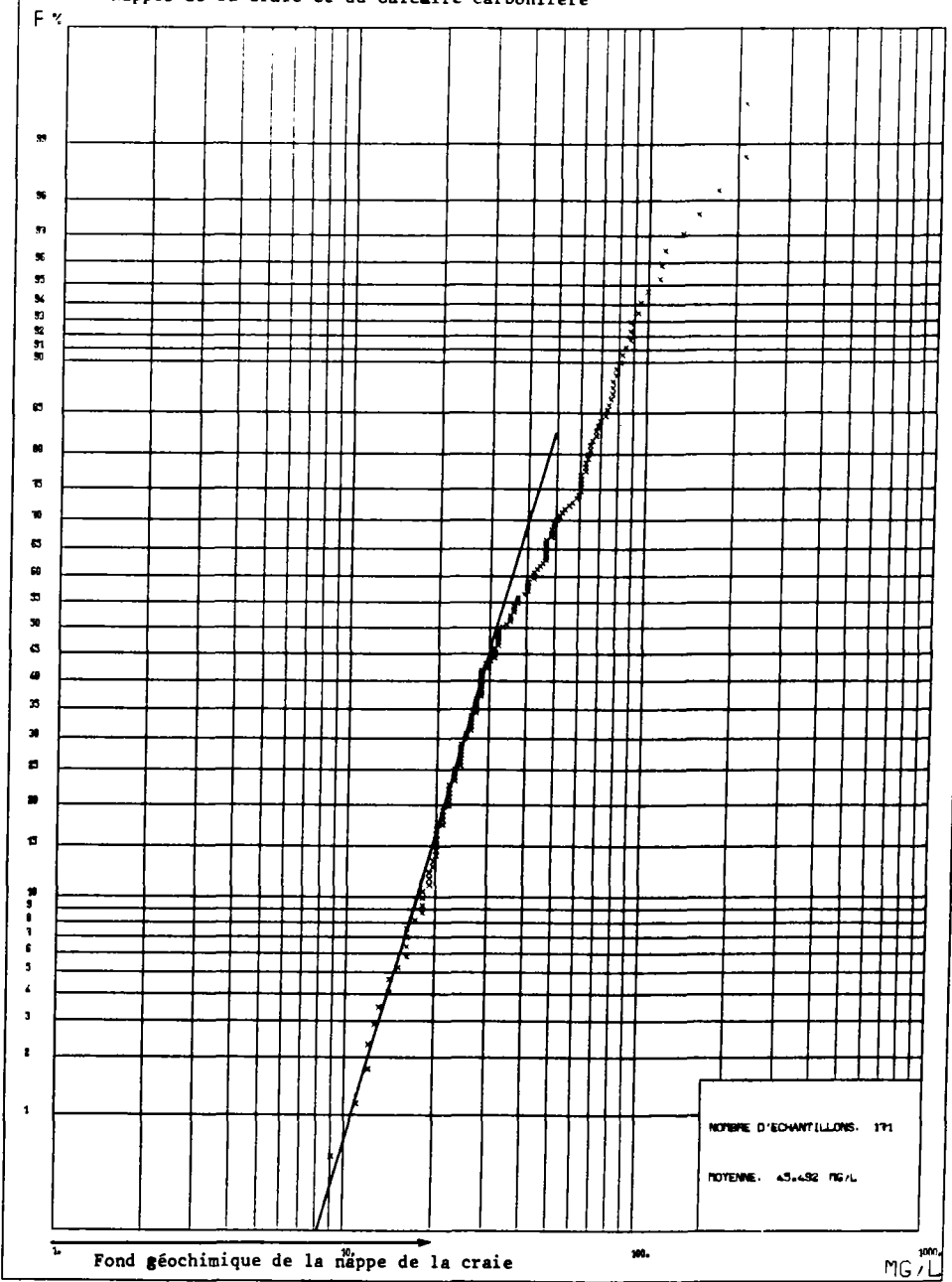


DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: CL-

Fig. 20

Nappes de la craie et du Calcaire carbonifère



Les points dont les teneurs en SO_4^{--} et Cl^- sont faibles sont en grande majorité situés dans la partie sud de la zone d'étude et sont caractéristiques de la nappe de la craie.

Quant aux bicarbonates, ils semblent franchement indépendants quelque soit l'aquifère. On remarque toutefois que les prélèvements effectués dans l'aquifère calcaire sous l'agglomération lilloise (figure 21) constituent une famille à part (teneurs en HCO_3^{--} supérieures à 450 mg/l).

Bien que nettement plus minéralisées dans la fosse de la Haine, les eaux du Calcaire carbonifère présentent dans ce secteur des teneurs en bicarbonates moindres. On peut donc craindre que celles-ci soient agressives.

. Cations

La valeur du fond géochimique de chaque aquifère peut être soulignée par l'analyse de la répartition statistique des concentrations en Ca^{++} et Na^+ . Pour la nappe de la craie, les figures 22A et 23A. montrent la présence d'au moins deux familles; la première rassemble des points où des phénomènes d'échange de base se produisent (jusqu'à 100 mg/l de Ca^{++}) situés essentiellement dans la cuvette d'Orchies, la seconde peut être considérée comme représentative de l'aquifère crayeux. Cette dernière famille est perturbée au-delà de teneurs dépassant 150 mg/l par des analyses montrant un apport dans la nappe de la craie d'eaux plus minéralisées (provenant du Calcaire carbonifère).

En ce qui concerne le sodium (figure 23A), 45% de l'échantillonnage regroupe des points dont la teneur est inférieure à 20 mg/l de Na^+ (nappe de la craie non perturbée). A l'opposé, s'alignent des valeurs qui présentent des échanges de base ou éventuellement une pollution locale. Entre ces deux populations extrêmes viennent se grouper des prélèvements faits au Nord du bassin minier.

La même analyse peut être entreprise à l'aide des données recueillies sur la nappe du Calcaire carbonifère. Les figures 22B et 23 B montrent clairement la présence de deux groupes, l'un spécifique à la région de Saint-Amand-les-Eaux à Saint-Ghislain, l'autre représentatif de l'aquifère calcaire sous l'agglomération lilloise (apport de la nappe de la craie et échange de base). Cette observation rejoint celle déjà faite et concernant les bicarbonates.

DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: HCO₃-

Nappe du Calcaire carbonifère

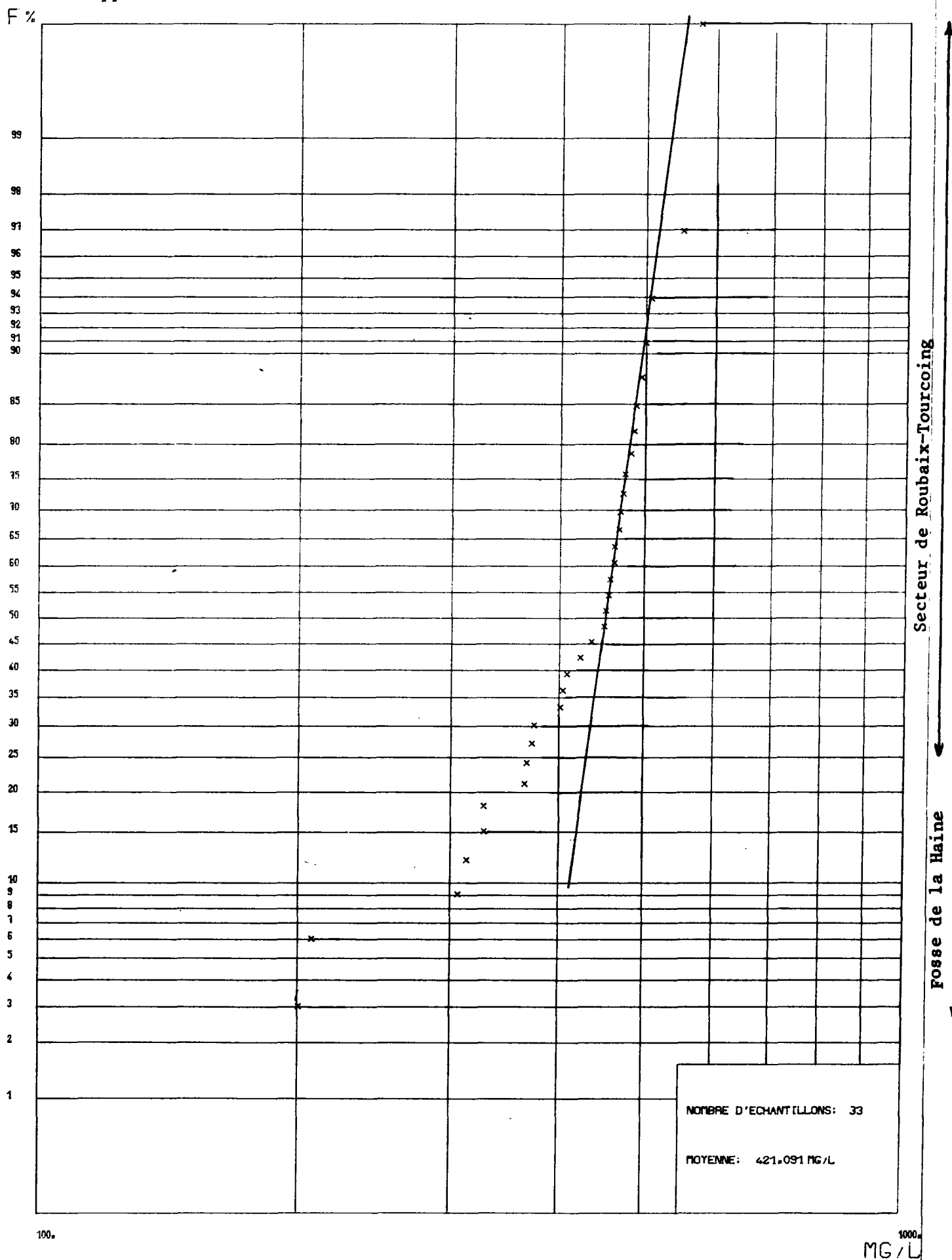
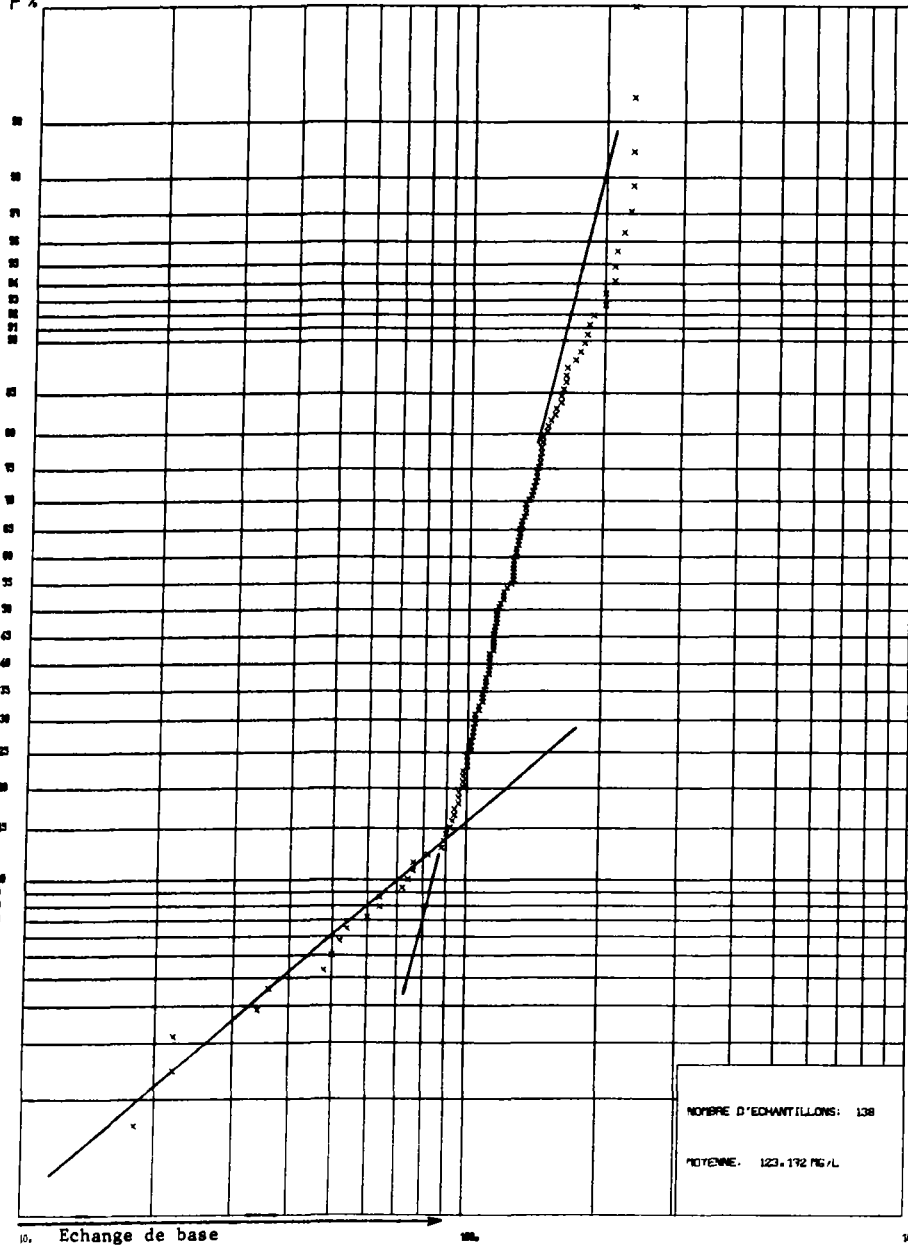


DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: CA⁺⁺

Fig. 22 A

Nappe de la craie



Echange de base

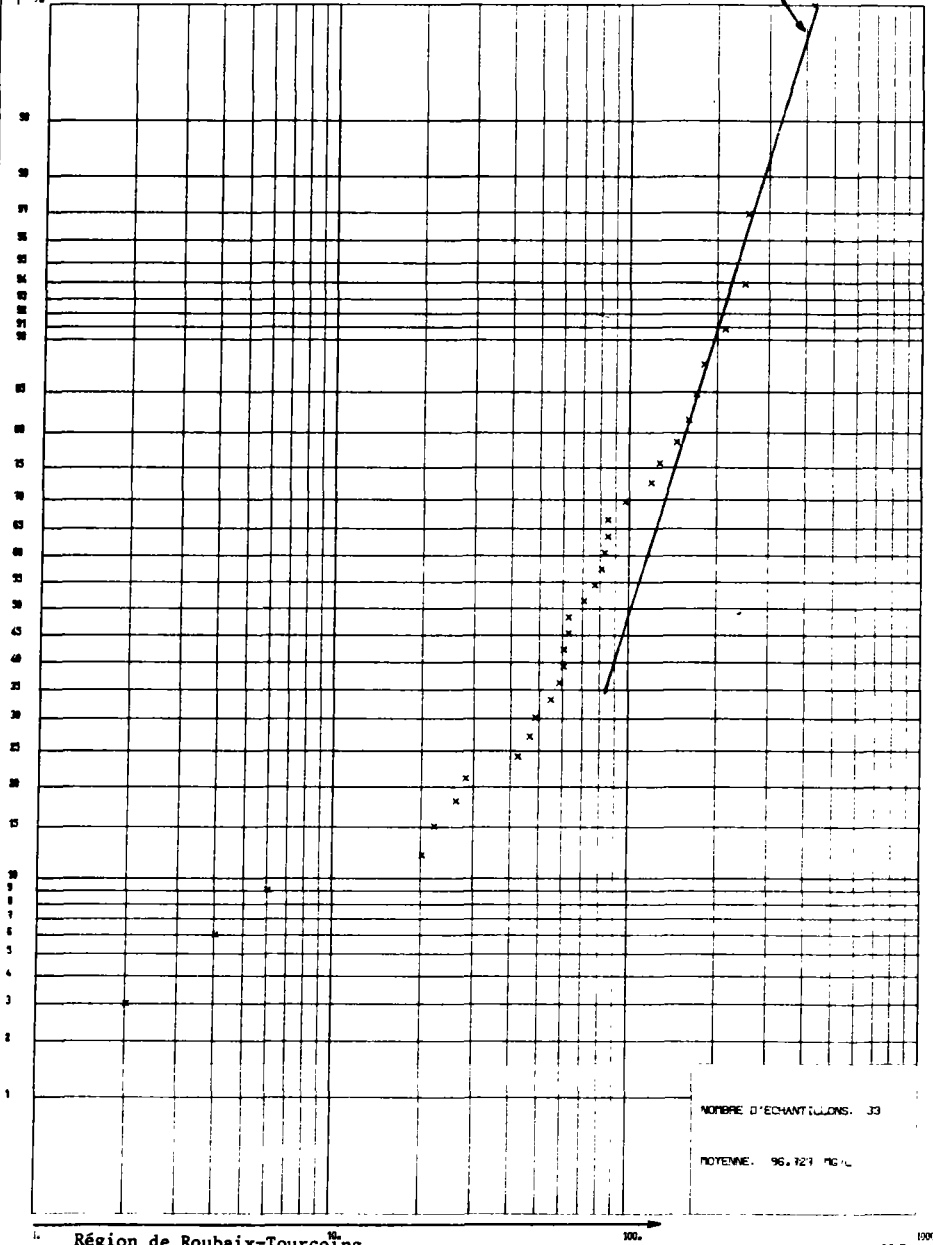
MG / L

DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: CA⁺⁺

Fig. 22 B

Nappe du Calcaire carbonifère

Secteur de Saint-Amand



Région de Roubaix-Tourcoing

MG / L

DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: Na^+

Fig. 23A

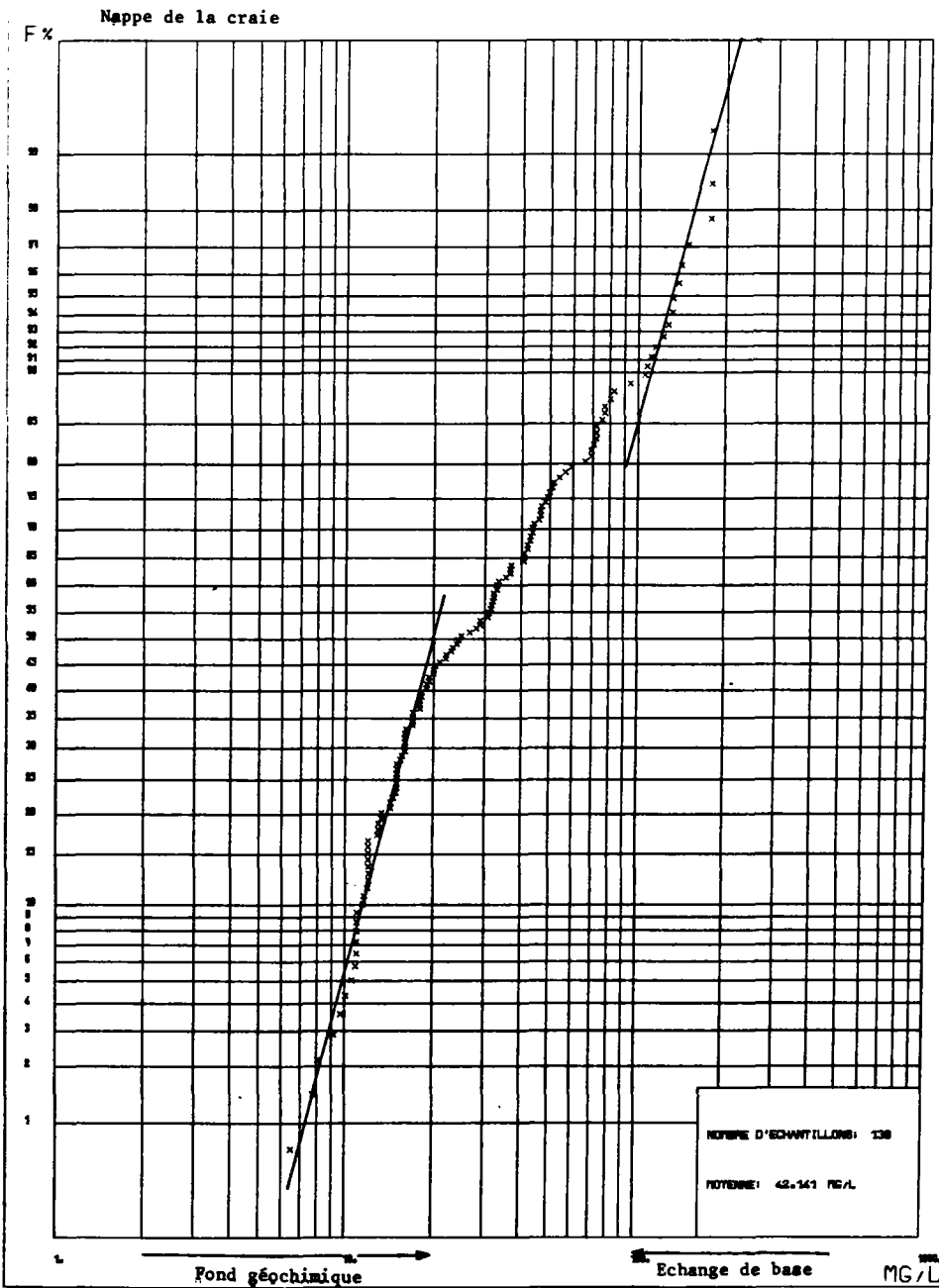
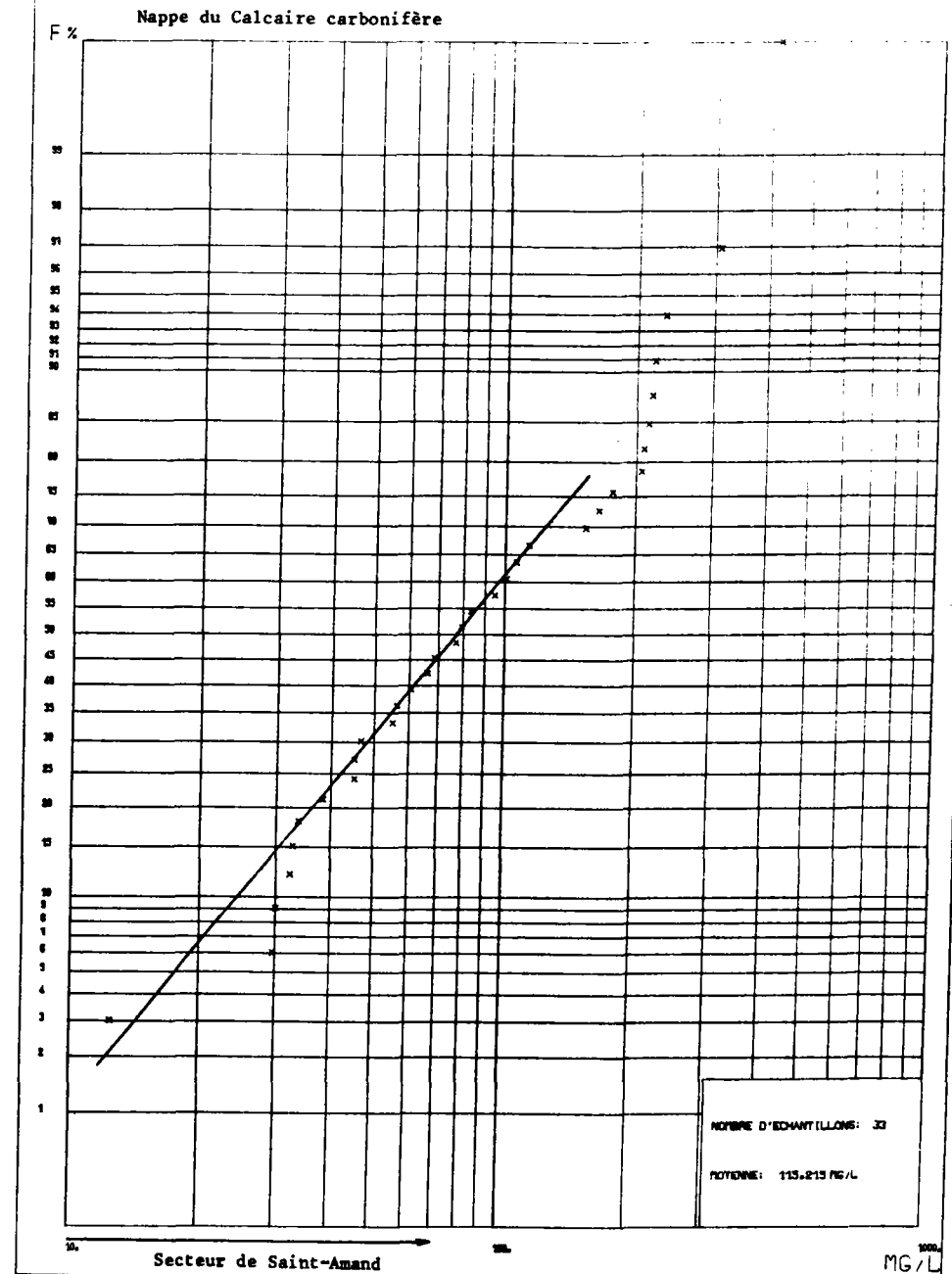


DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: Na^+

Fig. 23B



Cette distinction entre les deux aquifères est encore mise en évidence par la figure 24 qui présente la répartition statistique des teneurs en fluor. On remarque deux populations distinctes, chacune d'entre elles étant représentatives d'une nappe. La famille intermédiaire laisse suspecter des échanges qui peuvent exister entre aquifères.

33- Hydrochimie isotopique

Comme nous l'avons vu (figure 15), les eaux représentatives de l'aquifère calcaire dans la fosse de la Haine présentent un faciès franchement sulfaté. On peut donc penser pouvoir se servir des sulfates pour souligner les relations existant entre les deux aquifères sur la bordure nord du bassin houiller. En fait, le phénomène est plus complexe. En effet, les eaux de l'aquifère crayeux lorsque celui-ci est à l'état libre présentent des teneurs en sulfates inférieures à 30 mg/l. On doit considérer cette limite comme *constituant le fond géochimique en sulfates* lorsque l'aquifère est libre et non atteint par d'éventuelles pollutions. Il va s'en dire que ce n'est pas toujours le cas notamment dans la région lilloise. Par ailleurs, lorsque ce réservoir est recouvert par des terrains tertiaires, les teneurs en sulfates des eaux de la nappe de la craie peuvent être plus élevées, car elles ont lessivé l'Argile de Louvil. Dès lors, on comprendra que la minéralisation sulfatée ne peut à elle seule constituer un élément suffisant pour apprécier les relations existant entre les deux aquifères. Pour retrouver l'origine de cette minéralisation, il sera nécessaire de faire appel entre autres aux *isotopes du soufre*.

. Le soufre des sulfates

La recherche du delta ^{34}S des sulfates contenus dans l'eau est effectuée sur l'anhydrite sulfureux (SO_2) obtenu par réduction de ces sulfates en sulfures et grillage de ces derniers dans un excès d'oxygène.

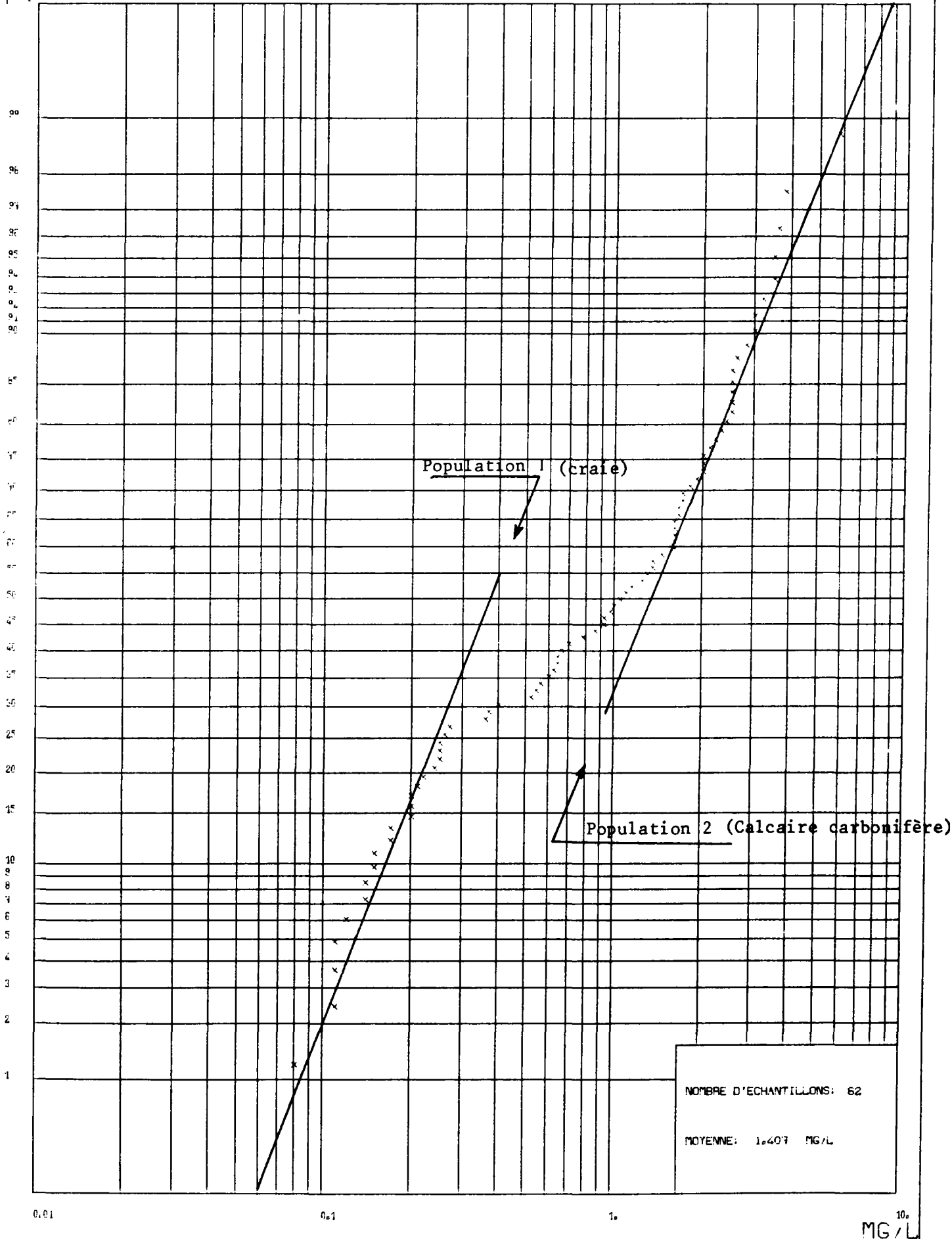
L'étude du rapport $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ permet de mettre en évidence les diverses sources des sulfates de l'eau. En effet, dans le cas d'une origine naturelle des sulfates, la minéralisation sulfatée est plus ou moins constante dans l'espace et provient de l'oxydation de pyrites (δ très négatif et concentration faible

DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: F-

Fig. 24

Nappe de la craie et du Calcaire carbonifère

F %



en sulfates), du lessivage d'évaporites (δ positif et minéralisation sulfatée forte), ou encore de la mise en solution du gypse d'origine diagénétique (δ négatif et minéralisation moyenne en sulfates). A partir des analyses de terrain déjà réalisées [1,2,3] et de celles exécutées sur différents forages profonds, on peut établir un tableau rassemblant les différentes données qui peuvent minéraliser une eau :

Argile d'Orchies : $\delta^{34}\text{S}$ (gypse de diagénèse) $= -42,5 \pm 0,2$

Sables d'Ostricourt : $\delta^{34}\text{S}$ (soufre total) $= -20,0 \pm 0,2$

Argile de Louvil : $\delta^{34}\text{S}$ (soufre total) $= -37,4 \pm 0,2$

$\delta^{34}\text{S}$ (SO_4 lessivé) $= -40,4 \pm 0,2$

Anhydrite : $\delta^{34}\text{S}$ (anhydrite) $= +18,3 \pm 0,2$

Grossièrement, on peut considérer que tout apport provenant des terrains tertiaires conduit à un appauvrissement en isotopes lourds. Ceci est confirmé par les analyses faites directement sur les eaux de la nappe des Sables d'Ostricourt ($\delta^{34}\text{S}$ tendant vers $-33,5$).

La minéralisation sulfatée observée dans la nappe du Calcaire carbonifère tout particulièrement dans le secteur de Saint-Amand-les-Eaux peut être due à la présence de pyrite observée dans le calcaire mais surtout à l'anhydrite recoupée par différents forages (Saint-Ghislain notamment). Une analyse effectuée sur des pyrites récupérées lors du forage de la Source du Clos (indice national 21-7-178) donne un $\delta^{34}\text{S}$ franchement négatif ($-40,4$). A l'opposé, les analyses faites sur les carottes des forages profonds indiquent pour le ^{34}S des anhydrites des valeurs oscillant entre $+14,0$ et $+18,8$.

Les prélèvements d'eau exécutés sur les forages situés dans la fosse de la Haine permettent d'avoir un état chimique non perturbé de chaque aquifère. On peut condenser comme suit les analyses réalisées :

. Nappe du Calcaire carbonifère

En examinant l'annexe IV qui rassemble, entre autres, les analyses réalisées dans le cadre de ce contrat, on remarque immédiatement que tous les forages captant le Calcaire carbonifère dans la zone servant de référence présentent des eaux fortement enrichies en isotopes lourds ($\delta^{34}\text{S}$ toujours positif). Il en est

de même des eaux à faciès bicarbonaté sodique observées dans la région lilloise à l'Ouest du réservoir là où l'épaisseur du semi-perméable est encore importante. On doit donc considérer qu'au delà d'un $\delta^{34}\text{S}$ supérieur à +12,0, l'horizon capté est caractéristique de l'aquifère calcaire (figure 25).

• Nappe de la craie

Les $\delta^{34}\text{S}$, très appauvris en isotopes lourds, montrent que le chimisme de l'eau de la nappe est modifié par la mise en solution de soufre d'origine sédimentaire : l'origine est à rechercher dans l'ensemble des terrains tertiaires surmontant la craie. Les valeurs les plus élevées sont observées en nappe libre (la valeur du $\delta^{34}\text{S}$ des sulfates dissous dans l'eau de pluie oscille entre -1,4 et +3,0).

La figure 26 condense les analyses réalisées dans le cadre de cette étude. Elle montre que la minéralisation sulfatée de la nappe de la craie peut être due à des pollutions locales comme, par exemple, dans la région lilloise. La mise en captivité de l'aquifère crayeux s'observe très nettement ; il a pour conséquence un appauvrissement progressif en isotopes lourds.

Ayant bien défini les analyses pouvant servir de référence, les autres analyses se trouvent dispersées entre les deux extrêmes, caractéristiques de la nappe de la craie et de celle du Calcaire carbonifère.

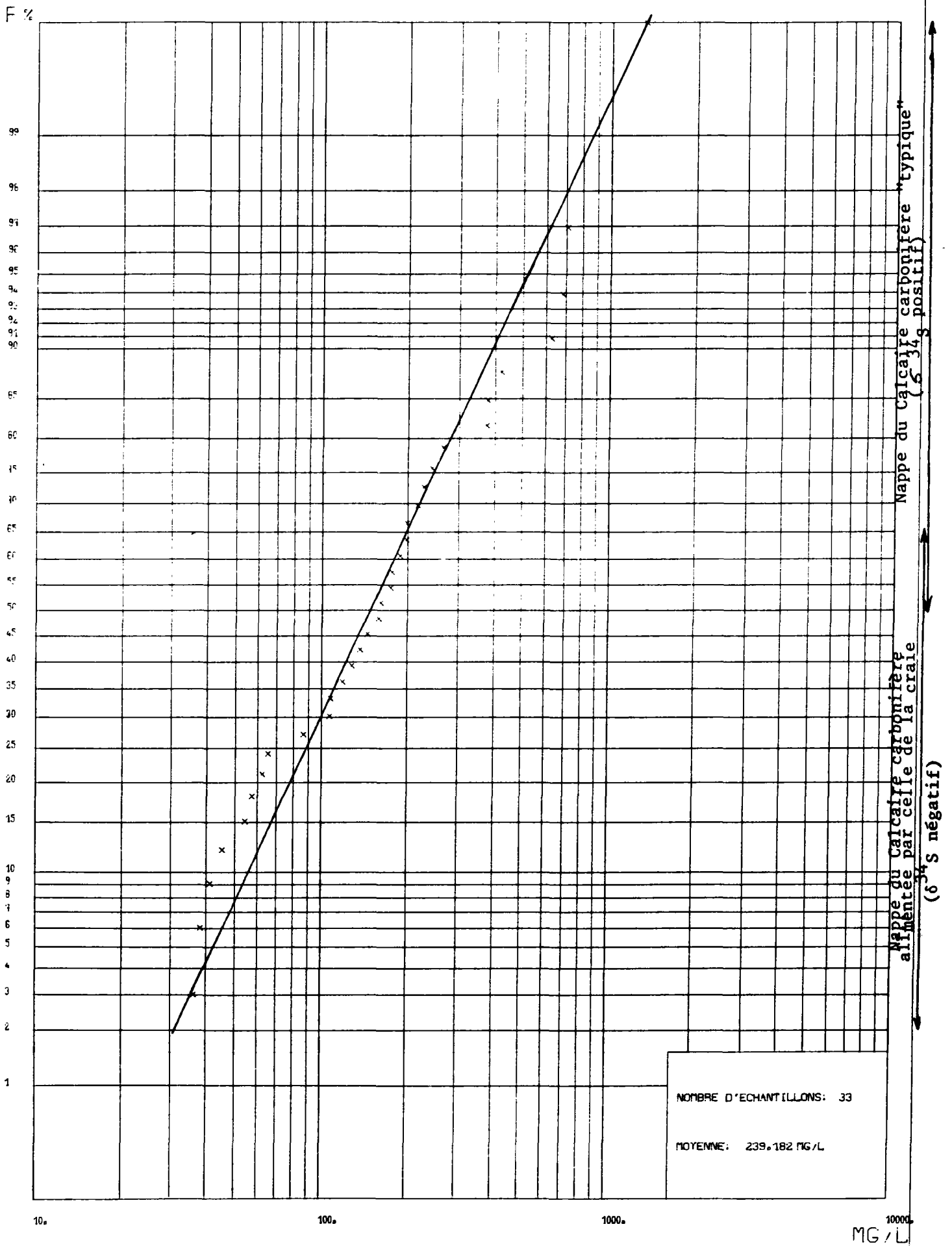
On remarque nettement que certaines eaux prélevées dans la craie présentent des caractéristiques conformes à celles observées dans le Calcaire carbonifère. La situation géographique de ces points de mesure montre que ces derniers sont tous situés sur la bordure nord du bassin minier.

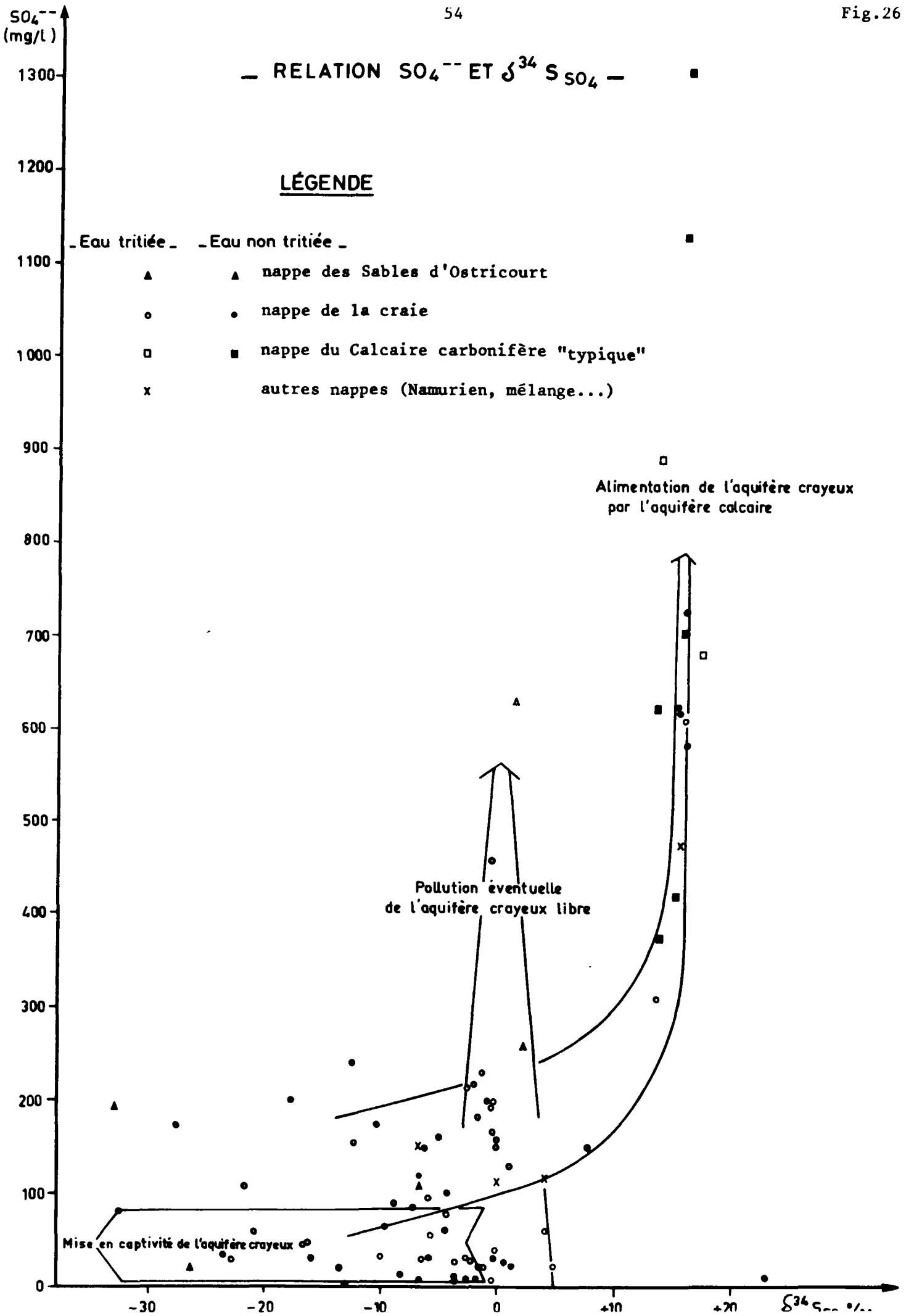
A l'opposé, les analyses faites dans la région de Roubaix-Tourcoing dans des forages captant la nappe du Calcaire carbonifère ne sont pas toutes caractéristiques de cette formation. Ceci est du à l'importance des prélèvements dans ce secteur qui induisent une alimentation de la nappe du Calcaire carbonifère par celle de la craie entraînant des valeurs de delta beaucoup plus faibles. Ces observations confirment donc les relations hydrauliques existant entre les deux aquifères (cf. chapitre 31).

DIAGRAMME GAUSSOLOGARITHMIQUE: SO4--

Fig. 25

Nappe du Calcaire carbonifère





. Oxygène 18 et deutérium

Dans un second temps, nous avons cherché à confirmer ces relations en s'appuyant sur d'autres isotopes stables comme l'oxygène 18 et le deutérium. Il est maintenant bien établi que les précipitations, en régime océanique tempéré, qui n'ont pas subi d'évaporation, obéissent à la relation suivante :

$$\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$$

Autour de cette droite ainsi définie, se répartissent les points représentatifs des différents aquifères étudiés. En se référant aux analyses réalisées dans la fosse de la Haine là où les aquifères crayeux et calcaire sont hydrauliquement séparés, on peut mettre en évidence deux pôles (figure 27) :

. l'un situé autour d'une valeur de $\delta^{18}O$ proche de -7 correspondant à des analyses faites sur des eaux de la nappe de la craie,

. l'autre situé autour d'une valeur de $\delta^{18}O$ égale à -8 typique d'une eau contenue dans le réservoir calcaire. Les eaux du Calcaire carbonifère sont donc appauvries par rapport à celles de la nappe de la craie. Ceci montre que les conditions atmosphériques des précipitations ayant alimenté l'aquifère calcaire sont différentes de l'époque actuelle (l'âge des eaux du calcaire est estimé à environ 1200 ans).

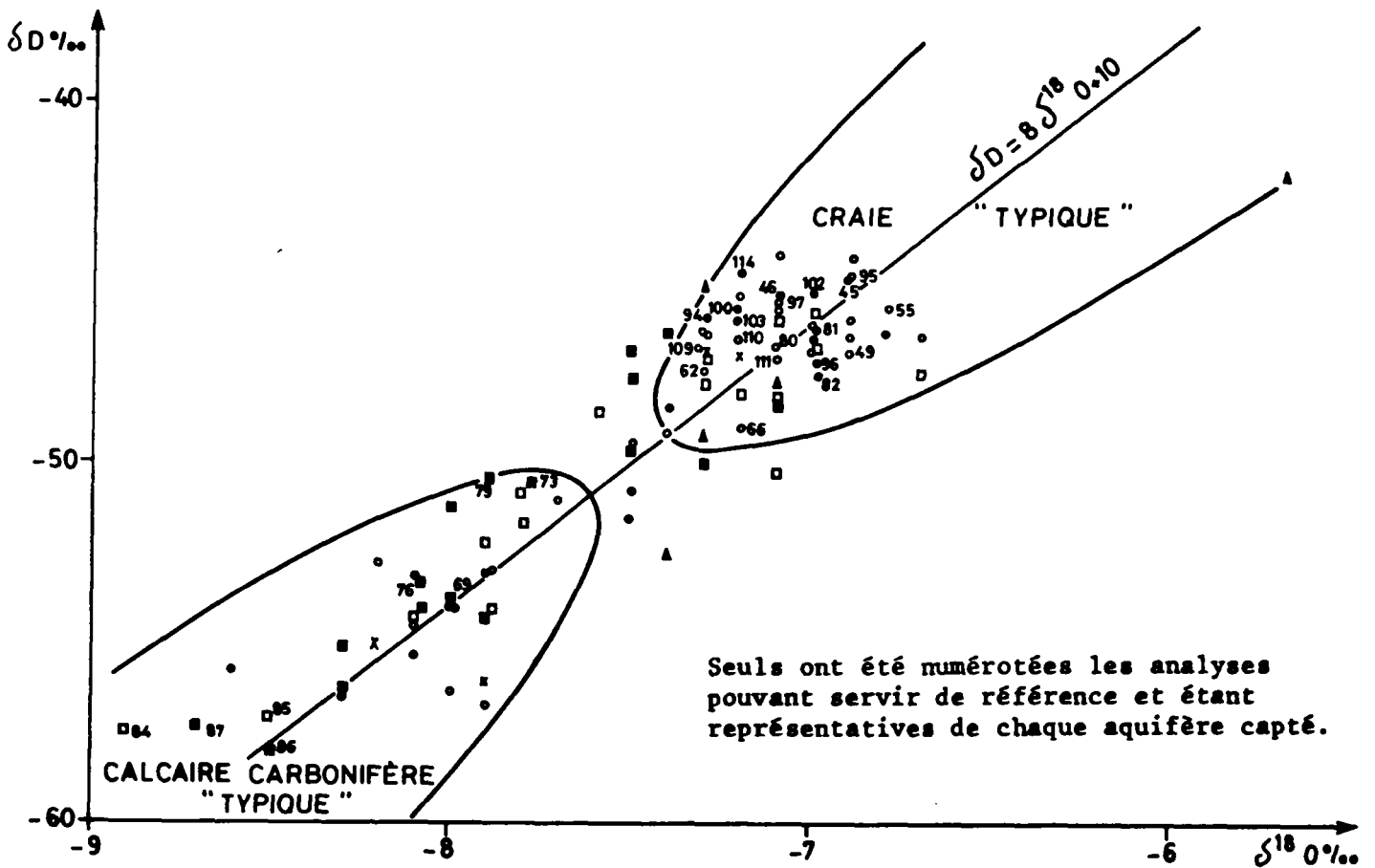
Dès à présent, on remarque que la position de l'analyse faite sur l'eau captée dans les Grès de Suchemont (Namurien) est proche de celles représentatives des eaux du Calcaire carbonifère alors que les eaux du Tertiaire figurent en majorité dans le pôle correspondant aux eaux de la nappe de la craie.

L'ensemble des analyses effectuées viennent se situer entre les deux pôles ainsi déterminés. Leur situation sur la figure est directement fonction des échanges existant entre les deux aquifères. Dans la mesure où ces échanges ne se font pas toujours dans le même sens, nous examinerons séparément les résultats d'analyses d'eaux d'ouvrages situés au Nord de la faille de Seclin de ceux obtenus sur des forages présents au Sud de ce même accident :

LÉGENDE

- Eau tritiée - - Eau non tritiée -

- ▲ ▲ nappe des Sables d'Ostricourt
- ○ nappe de la craie
- ■ nappe du Calcaire carbonifère
- x x autres nappes (Namurien, mélange...)



— RELATION OXYGÈNE 18 ET DEUTÉRIUM —

. Zone Nord de la faille de Seclin

La figure 28A qui présente les analyses réalisées dans ce secteur montre que les points à la craie sont peu dispersés ; ces derniers sont en effet situés dans le cadran précédemment défini comme étant caractéristique de cet aquifère. Par contre, les points au calcaire se répartissent entre les deux pôles extrêmes montrant par là-même que la nappe du Calcaire carbonifère est dans ce secteur alimentée par celle de la craie.

. Zone Sud de la faille de Seclin

C'est dans cette zone et plus particulièrement là où existent des terrains houillers qu'il a été possible de définir les pôles représentatifs de chaque aquifère. On s'aperçoit que les échantillons prélevés dans la nappe de la craie sont ici très dispersés, ce qui souligne les échanges de l'aquifère calcaire vers l'aquifère crayeux (figure 28B).

. Le tritium

Le seul isotope radio-actif constitutif de la molécule d'eau est le tritium ou ^3H . Celui-ci est mesuré par scintillation liquide après enrichissement électrolytique. Les teneurs sont exprimées en UT* ; une UT correspond à un atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène.

Présent naturellement dans les eaux de précipitation à des teneurs voisines de 5 UT, le tritium est devenu abondant dans les eaux depuis l'année 1952, à partir de laquelle eurent lieu de nombreuses explosions thermonucléaires dans l'atmosphère. A la suite de ces essais, les pluies et eaux de surface ont présenté des teneurs qui ont atteint 2000 à 3000 UT.

Le tritium indique aujourd'hui la présence d'eaux récemment infiltrées, c'est-à-dire postérieure à 1952.

Sur les figures précédentes, les eaux nettement tritiées ont été distinguées de celles ne l'étant pas ($^3\text{H} \leq 5 \text{ UT}$). Cette distinction permet de mettre en évidence l'impact des eaux superficielles sur l'aquifère crayeux (pollution de celui-ci).

* U.T. = unité tritium.

_ RELATION OXYGÈNE 18 ET DEUTÉRIUM _

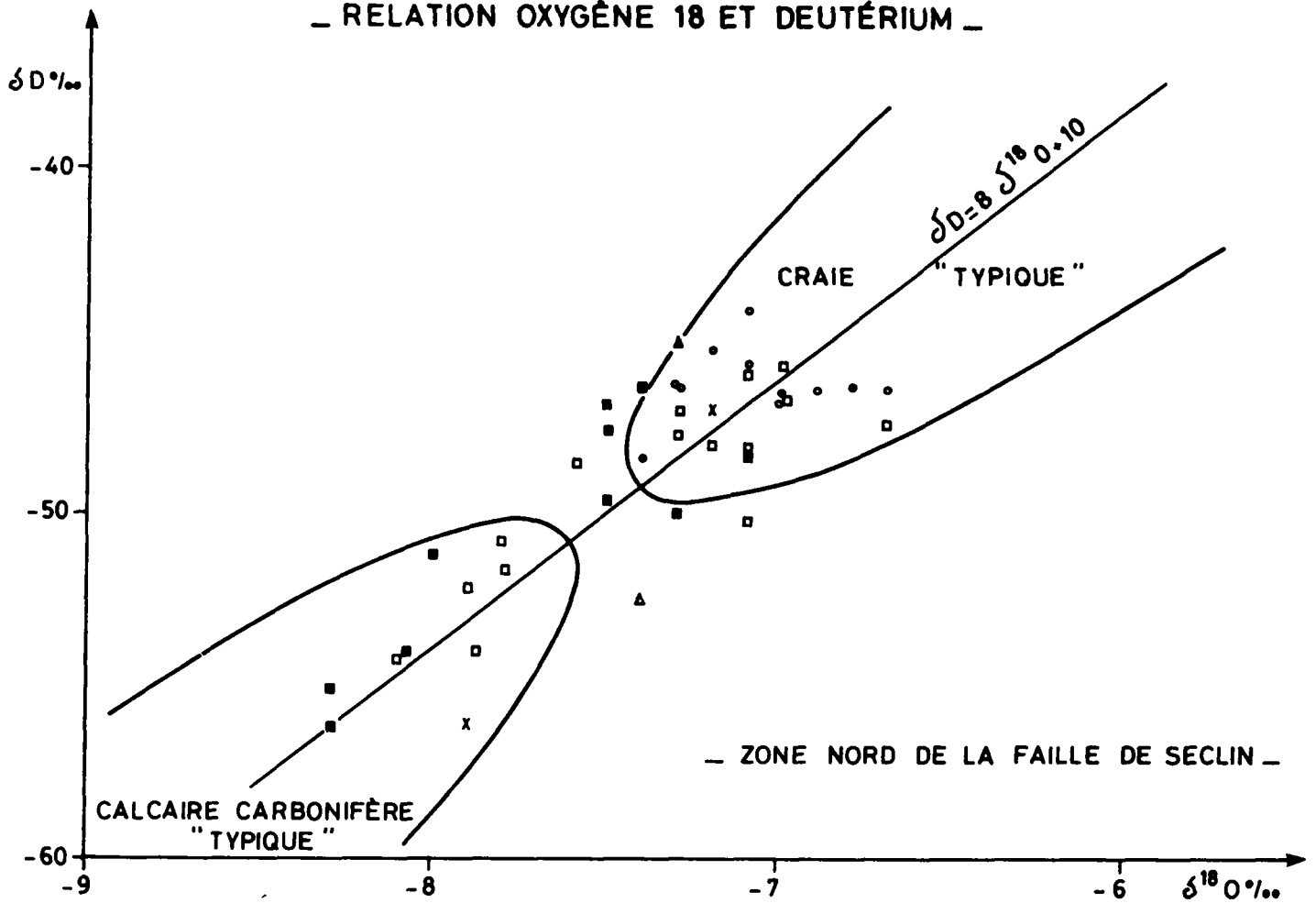
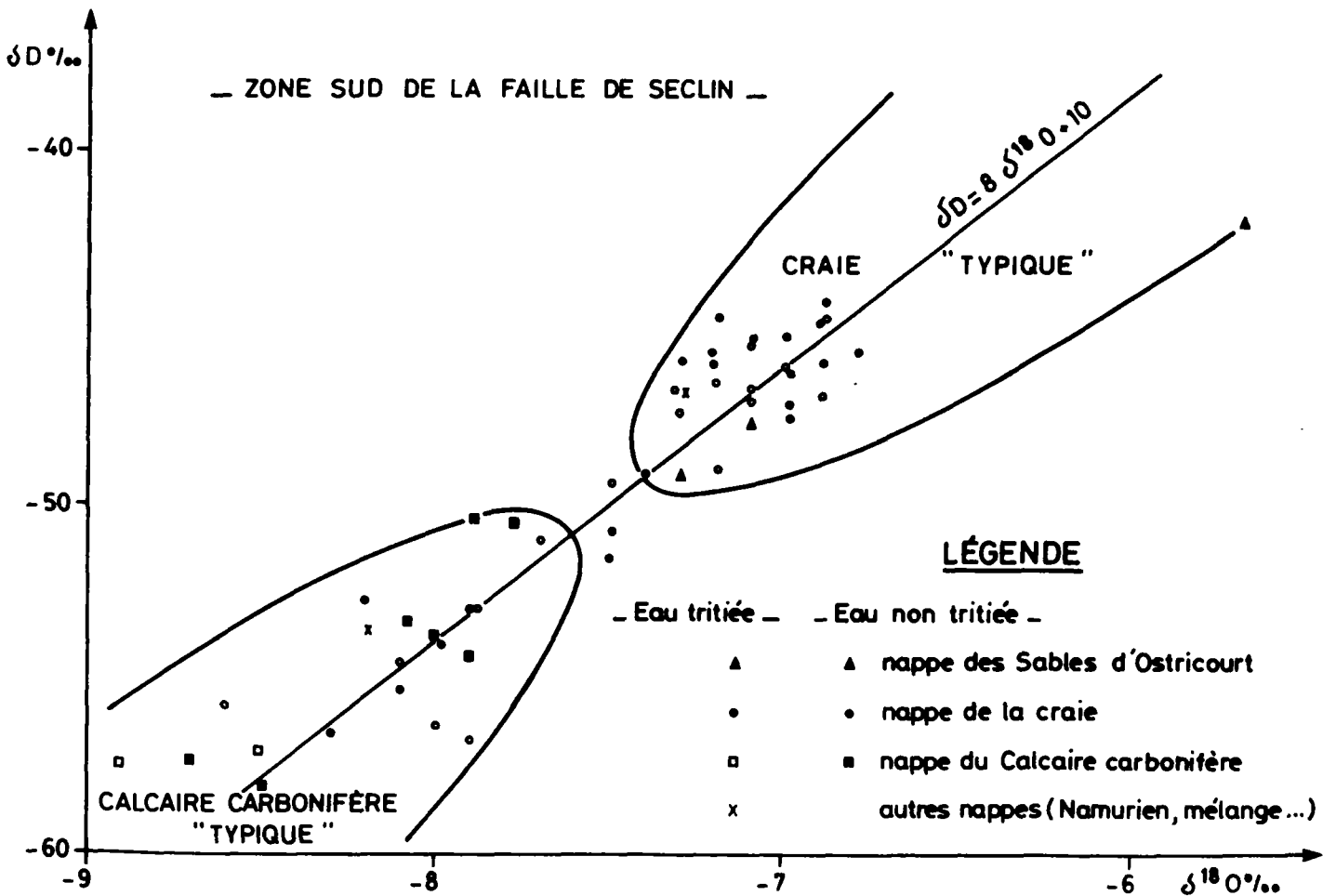


Fig. 28 B



Les eaux représentatives d'un aquifère franchement captif devraient être non tritiées ou du moins très faiblement. C'est loin d'être toujours le cas (mauvaise cimentation du tubage permettant la communication de l'aquifère capté et de la nappe superficielle).

4 - CONCLUSIONS SUR LES RESSOURCES

Si les données sont relativement importantes dans le secteur de Roubaix-Tourcoing, il n'en est pas de même dans le bassin minier. En effet, les nombreux sondages réalisés dans cette zone (en particulier par les houillères) n'atteignent qu'exceptionnellement le toit du Calcaire carbonifère. De ce fait, il a été nécessaire d'extrapoler les principaux renseignements existant au Nord d'où l'imprécision entachant ces derniers.

Le comportement hydraulique de la région de Roubaix-Tourcoing et celui de la région de Saint-Amand-les-Eaux sont fondamentalement différents. Il est à rappeler que l'anticlinal faillé de Seclin empêche toute continuité hydraulique entre les terrains calcaires situés de part et d'autre de celui-ci.

Dans le secteur qui nous intéresse plus précisément, la nappe du Calcaire carbonifère présente une charge supérieure à celle de la craie. Dès lors, on s'est intéressé à constater sur la bordure nord du bassin minier la présence de mélanges entre des eaux d'origine différente. Ces observations confirment les relations hydrauliques entre les deux aquifères, et ce faisant, montrent que *le réservoir calcaire est productif en profondeur.*

Les résultats positifs des premiers forages belges sont extrapolables dans la zone d'étude [34]. Il n'en reste pas moins vrai que l'incertitude sur la profondeur des ouvrages à réaliser s'avère importante.

Un premier forage dans le Hainaut permettrait de confirmer la productivité du réservoir calcaire. Par ailleurs, il pourrait nous conduire à étendre l'étude ici limitée à ce secteur. En effet, certaines anomalies thermiques (fosse n°24 - Estevelles) demandent dès à présent à être précisées.

B. BOSCH, Département MGA
J. BECKELYNCK et A. TALBOT
Ingénieurs hydrogéologues
Service géologique régional
Nord Pas-de-Calais du B.R.G.M.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 BERNARD, D., BOSCH, B. et CAULIER, P. - 1980 - Acquisition et rassemblement des données géothermiques disponibles et nouvelles dans la zone franco-belge de Saint-Ghislain à Saint-Amand-les-Eaux (Nord) - *Rapp. int. B.R.G.M. 80 SGN 406 NPC/MGA/GTH.*
- 2 BERNARD, D., BOSCH, B. et MARCE, A. - 1979 - Diagnostic des pollutions agricoles dans les eaux souterraines par les isotopes du milieu - Contrat 248-77 IENV F - *Rapp. int. B.R.G.M. 79 SGN 141 NPC/MGA.*
- 3 BERNARD, D. - 1980 - Contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe de la craie dans le Nord de la France - Etat et acquisition du chimisme de l'eau - *Thèse 3ème cycle, Univ. Sc. et techn., Lille.*
- 4 BOSCH, B., CAULIER, P. et TALBOT, A. - 1980 - Etude préliminaire à la réalisation de forages dans la nappe du Calcaire carbonifère - Acquisition de données complémentaires (deuxième phase) - *Rapp. int. B.R.G.M. 80 SGN 689 NPC.*
- 5 BOSCH, B., MARCE, A. et MEGNIEN, Cl. - 1974 - Observations sur la zonalité de la composition isotopique du soufre des gypses du Ludien du Bassin de Paris - Signification géochimique - *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, 41, 31-34.*
- 6 CAULIER, P. - 1974 - Etude des faciès de la craie et de leurs caractéristiques hydrauliques dans la région du Nord - *Thèse 3ème cycle, Univ. Sc. et techn., Lille.*
- 7 C.F.P. (M), COPESEP, R.A.P. et S.N.P.A. - 1966 - Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France - *A.S.G.N., t. LXXXV, p273.*
- 8 CHALARD, J. - 1981 - Groupe de Valenciennes, liste des puits naturels - *Doc. int. H.B.N.P.C.*
- 9 CLAYPOOL, G.E., HOLSER, W.T., KAPLAN, I.R., SAKAI, H., et ZAK, I. - 1980 - The age curves of sulfur and oxygen isotope in marine sulfate and their mutual interpretation - *Chem. Geol., 28, 199-260.*
- 10 CLAYTON, R.N. et DEGENS, E.T. - 1959 - Use of carbon isotope analyses of carbonates for differentiating fresh-water and marine sediments - *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol. 43, 890-897.*
- 11 COEN-AUBERT, M., GROESSENS, E. et LEGRAND, R. - 1980 - Les formations paléozoïques des sondages de Tournai et de Leuze - *Bull. Soc. belge de géologie, Bruxelles, t.89, Fasc.4, pp.241-275.*
- 12 COMBES, P. - 1981 - Construction du modèle mathématique de la nappe du Calcaire carbonifère - Calage et simulations exploratoires - *Rapp. int. CIG-ENSMP - LHM/RI/81/17.*
- 13 COPESEP - 1967 - Rapport de fin de sondage Jeumont-Marpent n°1 - "JEU.1" - *Rapp. int. COPESEP.*

- 14 COTTET, J. - 1979 - Sur la demande d'autorisation d'exploitation comme eau minérale naturelle telle qu'à l'émergence, après transport à distance par canalisation et traitement de l'eau de la source du "Petit Clos" située à Saint-Amand-les-Eaux (Nord) - Acad. Nat. de Médecine, p.290.
- 15 DEGENS, E.T. et EPSTEIN, S. - 1964 - Oxygen and carbon isotope ratios in coexisting calcites and dolomites from recent and ancient sediments - *Geochim. Cosmochim. Acta* 28, 23-44.
- 16 DELECOURT, J. - 1936 - Sur la composition chimique des eaux souterraines au couchant de Mons et des régions limitrophes - *Ann. Soc. Géol. de Belgique, Liège, t. LX, pp.8.107-123.*
- 17 DELMER, A. - 1972 - Origine du bassin crétacique de la vallée de la Haine - *Professionnal paper, Bruxelles, 1972, n°5.*
- 18 DELMER, A. - 1977 - Le Bassin du Hainaut et le sondage de Saint-Ghislain - *Professionnal paper, Bruxelles, 1977/6, n°143.*
- 19 DELMER, A. - 1979 - Hydrodynamique de la nappe aquifère du Calcaire carbonifère supérieur en Hainaut - *Ann. Soc. Géol. de Belgique, Liège, t.102, pp.259-264.*
- 20 DELMER, A. et VAN WICHELEN, P. - 1980 - Répertoire des puits naturels connus en terrain houiller du Hainaut - *Professionnal paper, Bruxelles, 1980/5, n°172.*
- 21 ECKELMANS, V. - 1968 - Variations du rapport isotopique $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ dans des anhydrites d'évaporites du Dévonien moyen supérieur de Tournai et de Leuze - *Mémoire de Licence en Sciences chimiques - Université de Liège, 45pp.*
- 22 FRITZ, P. - 1971 - Geochemical characteristics of dolomites and the ^{18}O content of middle Devonian Oceans - *Earth Planet. Sc. Letters* 11, 277-282.
- 23 FRITZ, P., JACKSON, S.A. - 1972 - Geochemical and Isotopic characteristics of middle Devonian Dolomites From Pine Point - Northern Canada - *24th IGC, Section 6, 230-243*
- 24 HOLSER, W.T., KAPLAN, I.R. - 1966 - Isotope geochemistry of sedimentary sulfates - *Chem. Geol.* 1, 93-135.
- 25 HOUSSE, B. et MAGET, Ph. - 1976 - Potentiel géothermique du Bassin parisien - *Et. DGRST.*
- 26 HOUSSE, B. et MAGET, Ph. - 1977 - Potentiel géothermique du Bassin aquitain - *Et. DGRST.*
- 27 JACQUOT, E. et WILLM; - 1894 - Les Eaux Minérales de la France - *Ed. Baudry et Cie.*
- 28 KEITH, M.L., WEBER, J.N. - 1964 - Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils - *Geochim. Cosmochim. Acta* 28, 1787-1816.

- 29 LALOY, R. - 1873 - Recherches géologiques et chimiques sur les eaux sulfureuses du Nord.
- 30 LANGGUTH, H.R., NIELSEN, H. - 1980 - Sulphur isotopes in thermal waters and anhydrites of the Dinantian at the Southern margin of the Brabant Massif : preliminary note -
in Medded-Ryks Geol. Dienst 32-13, 101-105.
- 31 LECLERCQ, V. - 1980 - Le sondage de Douvrain -
Professionnal Paper, Bruxelles, 1980/3, n°170.
- 32 LEGRAND, R. et MORTELMANS, G. - 1959 - Le sondage de l'Asile d'aliénés à Tournai et le problème du Tournaisien de Tournai -
Bull. Soc. belge Géol., T. LXVIII, 2, 335-348.
- 33 LEGRAND, R. - 1968 - Le Massif du Brabant -
Mém. Expl. Cartes Géol. Min. Belgique, Bruxelles, n°9.
- 34 LEGRAND, R. - 1975 - Jalons géothermiques -
Mém. Expl. Cartes Géol. Min. Belgique, Bruxelles, n°16.
- 35 LEGRAND, R. et NEYBERGH, H. - 1979 - La nappe aquifère du Calcaire carbonifère du Tournaisis -
Professionnal paper, Bruxelles, 1979/8.
- 36 LETÔLLE, R. - 1971 - Simplification des techniques de préparation de CO₂ et SO₂ en vue de l'analyse isotopique du carbone organique et du soufre des sulfures -
Bull. Soc. Franc. Minéral. Cristallogr. 94, 449-450.
- 37 MARLIERE, R. - 1976 - Les eaux chaudes de Baudour (Belgique) et les tunnels inclinés -
Mém. et Puplic. Soc. Sc. Arts et Lettres, Mons, 1976, vol 87, pp.35-131.
- 38 MC. CREA, J.M. - 1950 - On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale -
J. Chem. Phys. 18, 849-857.
- 39 PEPKOWITZ, L.P. et SHIRLEY, E.L. - 1951 - Microdetection of sulfur -
Analyt. Chem. 23-11, 1709-1710.
- 40 PILOT, J., ROSLER, H.J. et MULLER, P. - 1972 - Sur le développement géochimique de l'eau de mer et de sédiments marins dans le Phanérozoïque sur la base d'études isotopiques de S, O et C -
Neve Bergbautechnite 2, 161-168.
- 41 SCHIDLOWSKI, M., EICHMANN R., JUNGE Ch.E - 1975 - Precambrian Sedimentary carbonates ; carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget -
Precambrian Res. 2, 1-69.
- 42 SERVICE GEOLOGIQUE DE BELGIQUE - 1980 - Commission des Communautés Européennes - Contrat 572 EGB, Rapport final -
Rapp. int. S.G.B.

- 43 TALBOT, A. et TILLIE, B. - 1979 - Modèle mathématique de gestion du Douaisis - Acquisition et rassemblement des données en vue de la réalisation d'un modèle mathématique -
Rapp. int. 79 SGN 268 NPC.
- 44 TALBOT, A. - 1979 - Etude préliminaire à la réalisation de forages dans la nappe du Calcaire carbonifère -
Rapp. int. B.R.G.M. 79 SGN 542 NPC.
- 45 TALBOT, A. et JOURDAIN, E. - 1980 - Etude préliminaire à la réalisation de forages dans la nappe du Calcaire carbonifère - Acquisition de données complémentaires -
Rapp. int. B.R.G.M. 80 SGN 233 NPC.
- 46 THODE H.G. - 1949 - Variations in abundances of isotopes in nature -
Research 2, 154-61.
- 47 THODE, H.G., MONSTER, J., DUNFORD, H.B. - 1961 - Sulphur isotope geochemistry -
Geochim. Cosmochim. Acta 25, 159-174.
- 48 THODE, H.G. et MONSTER, J. - 1965 - Sulphur isotope geochemistry of petroleum, evaporites and succent seas -
Am. Assoc. petrol. Geol. Mem.4, 367-377.
- 49 VEIZER, J., HOLSER, W.T., WILGUS, Ch.K - 1980 - Corrélation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ Secular variations -
Geochim. Cosmochim. Acta 44, 579-587.

ANNEXES

LEZENNES (Nord)

81 SGN 868 NPC

COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE

ETUDE DES POSSIBILITES D'EXPLOITATION

D'EAU CHAUDE DANS LE HAINAUT

CONTRAT N° EG-C-009-R/RS

Diagraphies des sondages de reconnaissance

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL NORD-PAS DE CALAIS

FEUILLE DE SONDAGE

D'après archives

Numéro du sondage : AN-1

Projet ou chantier : Sondage pétrolier SNPA

Indice national : 14-8C-257

Entreprise de sondage : SNPA

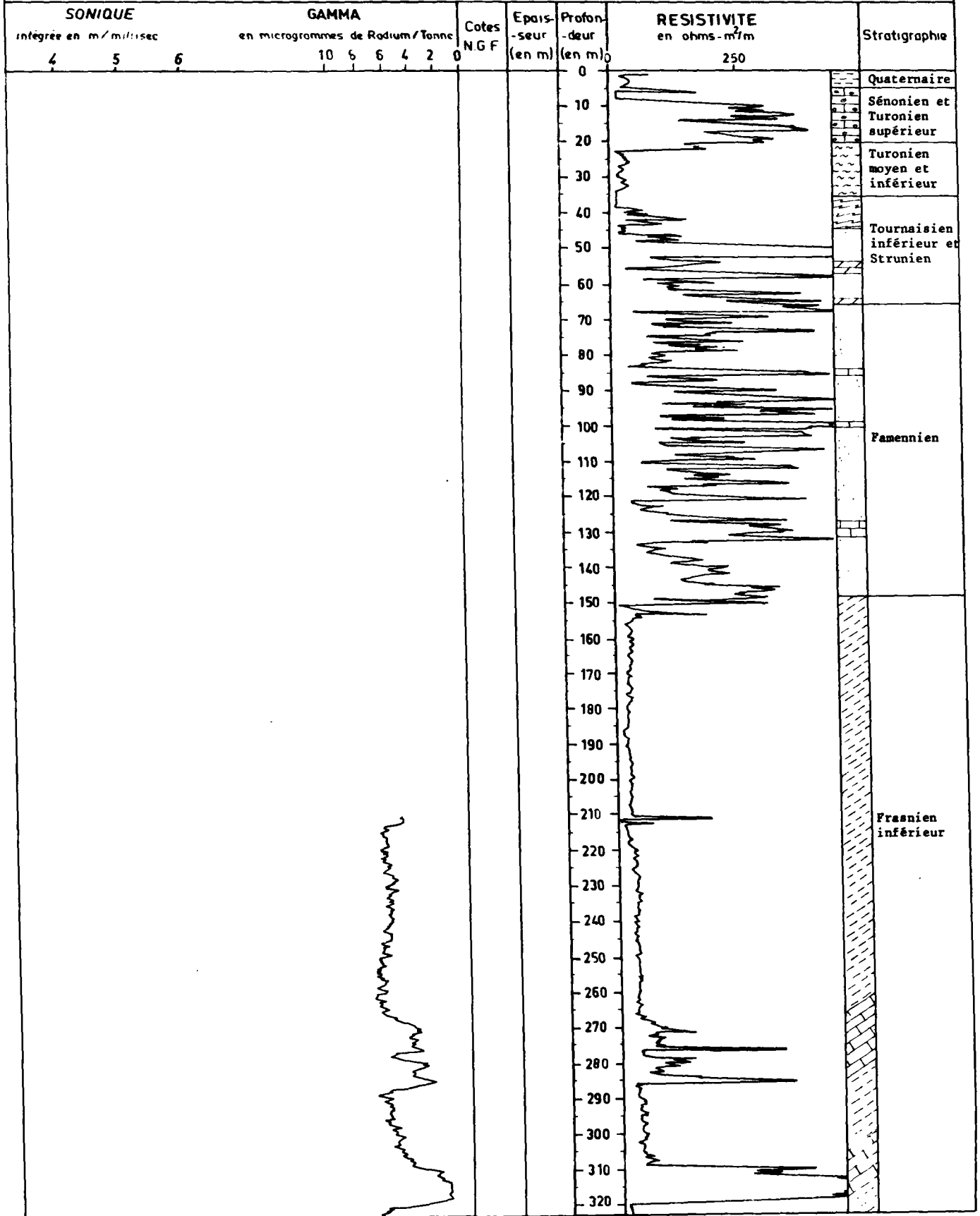
Date d'exécution : arrêté le 25/6/1963

Numéro du dossier : Interprétation : SNPA et G. WATERLOT

Emplacement : ANNAPPES

Coordonnées Lambert : X = 657,980 Y = 325,380

Altitude : Z = + 28,50 m BNG



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL NORD-PAS DE CALAIS

FEUILLE DE SONDAGE

Numéro du sondage: _____

Indice national: 125 B 298Date d'exécution: arrêté le 17 juillet 1962Emplacement: LEUZE (Belgique)

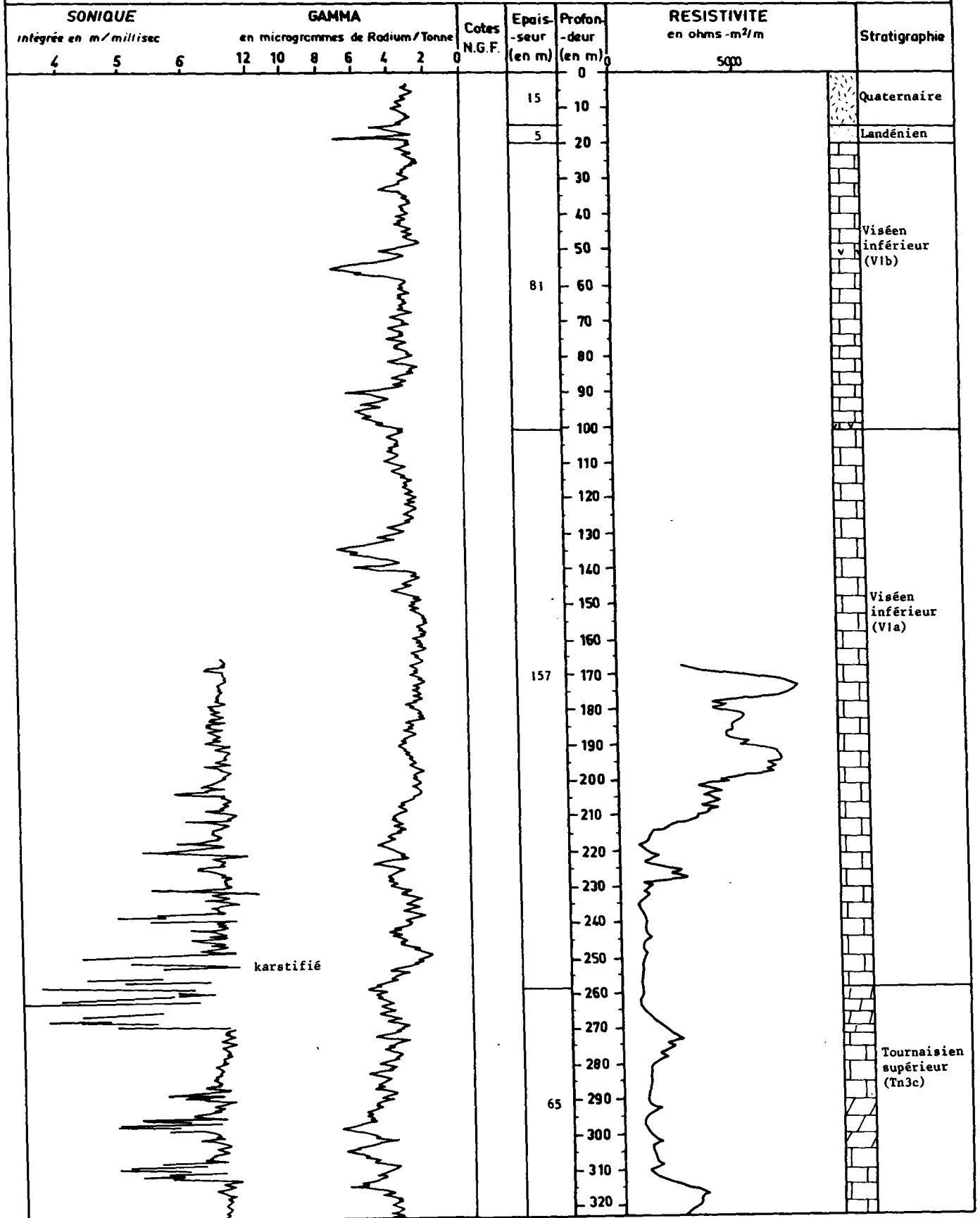
Coordonnées Lambert: X = _____, Y = _____

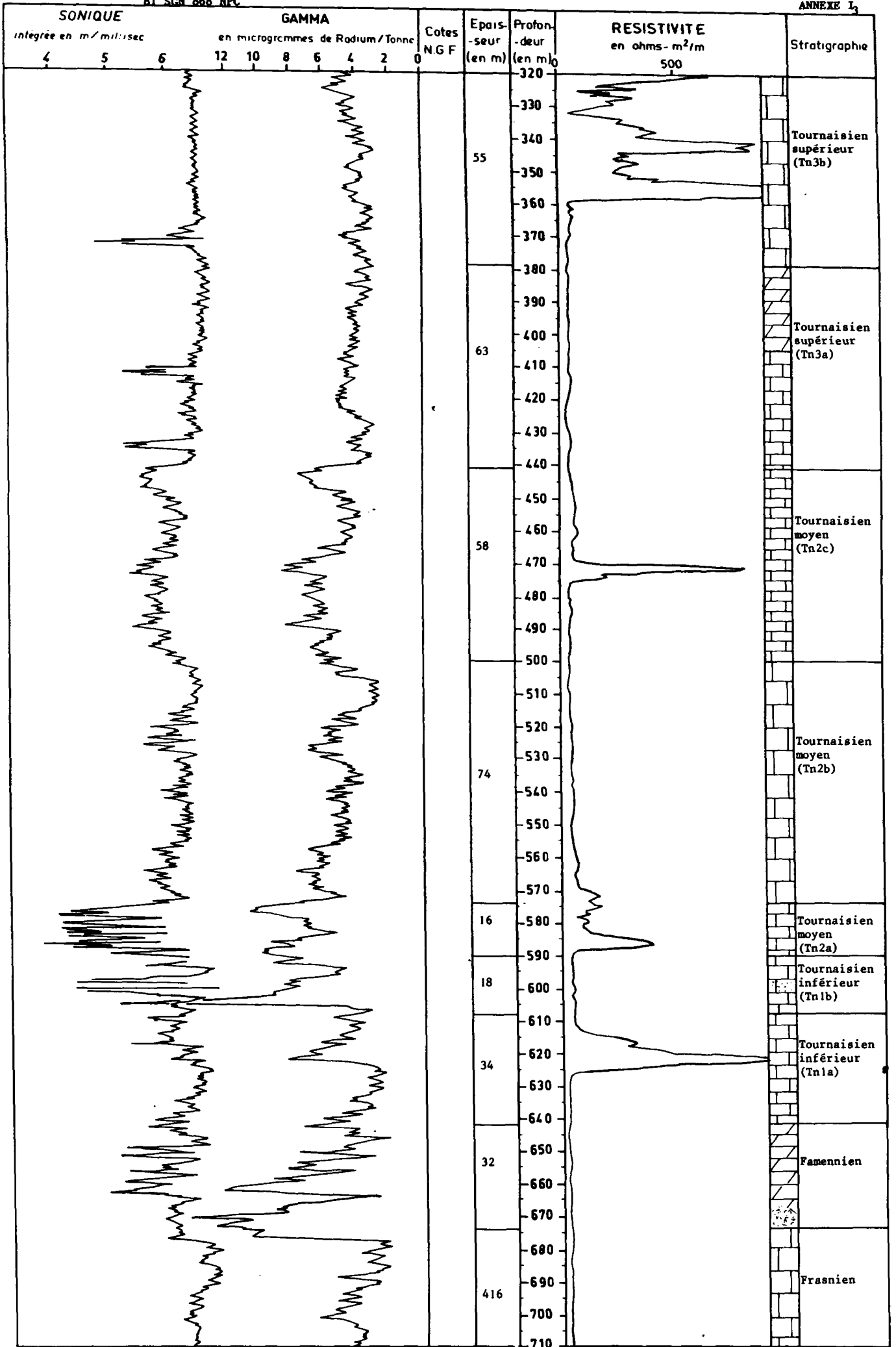
Altitude: Z = ± _____

D'après archives du Service Géologique de Belgique

Projet ou chantier: _____

Entreprise de sondage: _____

Numéro du dossier: S.G.B (interprétation: _____
R. LEGRAND)

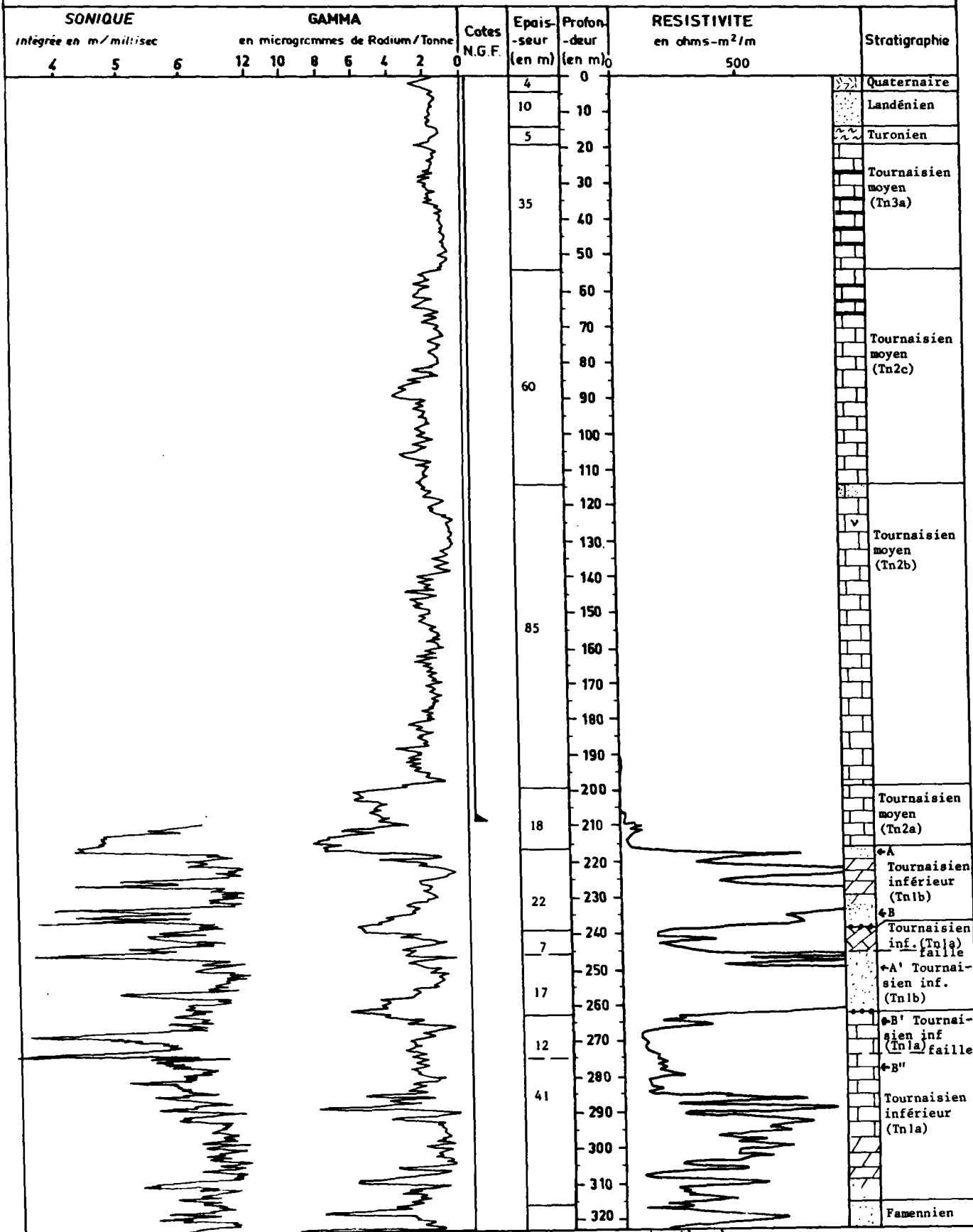


BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL NORD-PAS DE CALAIS

FEUILLE DE SONDAGE

D'après Archives du Service Géologique de Belgique
Projet ou chantier : _____
Entreprise de sondage : FORAKY
Numéro du dossier : S.G.B. (interprétation :
R. LEGRAND)

Numéro du sondage : _____
Indice national : 124 R 455
Date d'exécution : arrêté le 29 octobre 1960
Emplacement : TOURNAI (Belgique)
Coordonnées Lambert : X = _____ Y = _____
Altitude : Z = +



A = A' Répétitions par faille
R = R' = R''

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL NORD-PAS DE CALAIS

FEUILLE DE SONDAGE

D'après archives de la Compagnie des pétroles du Sud-Est
parisien

Projet ou chantier: Sondage pétrolier COPESEP

Entreprise de sondage: FOREX

Numéro du dossier: _____

Numéro du sondage: JEU - 1

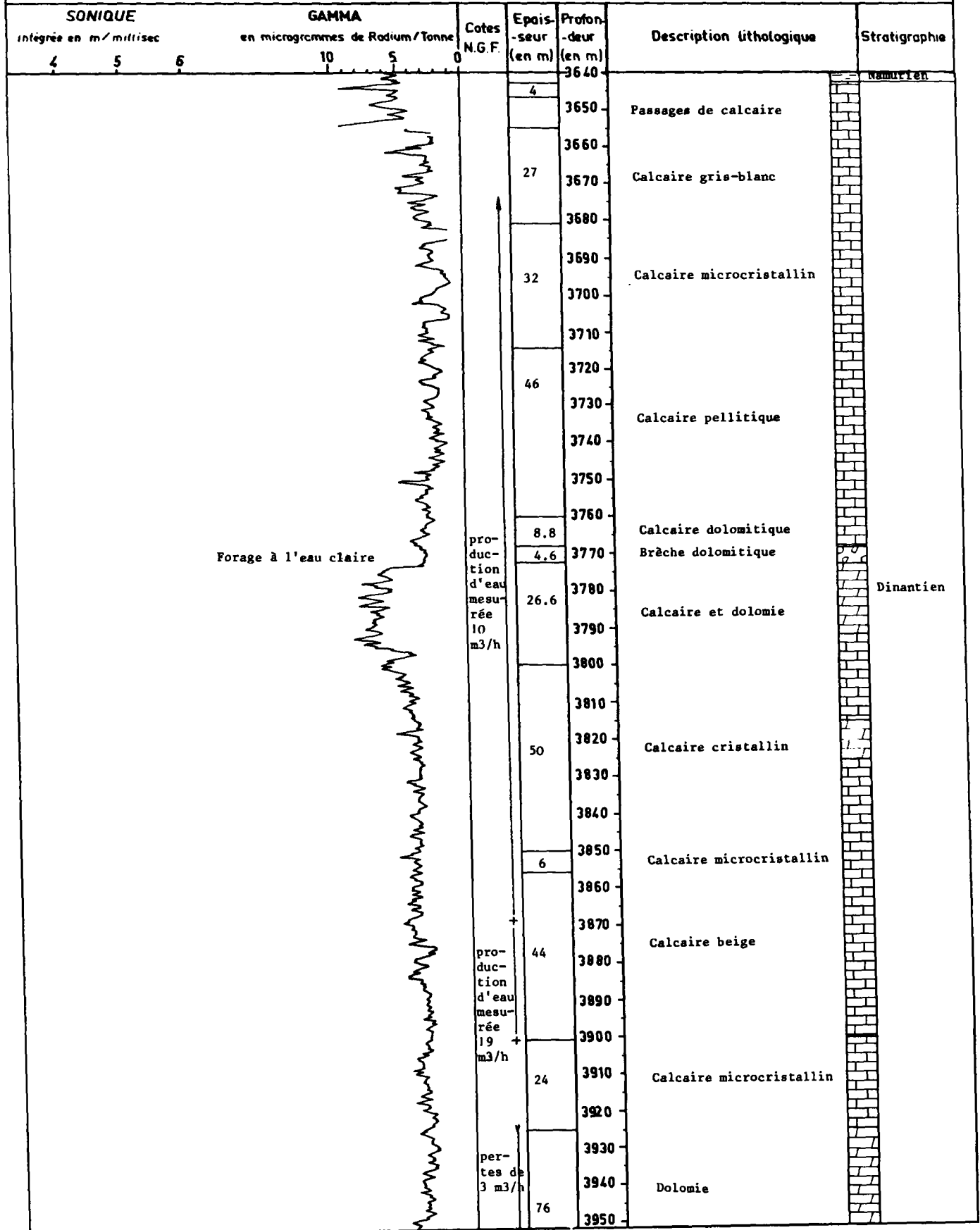
Indice national: 30-6-005

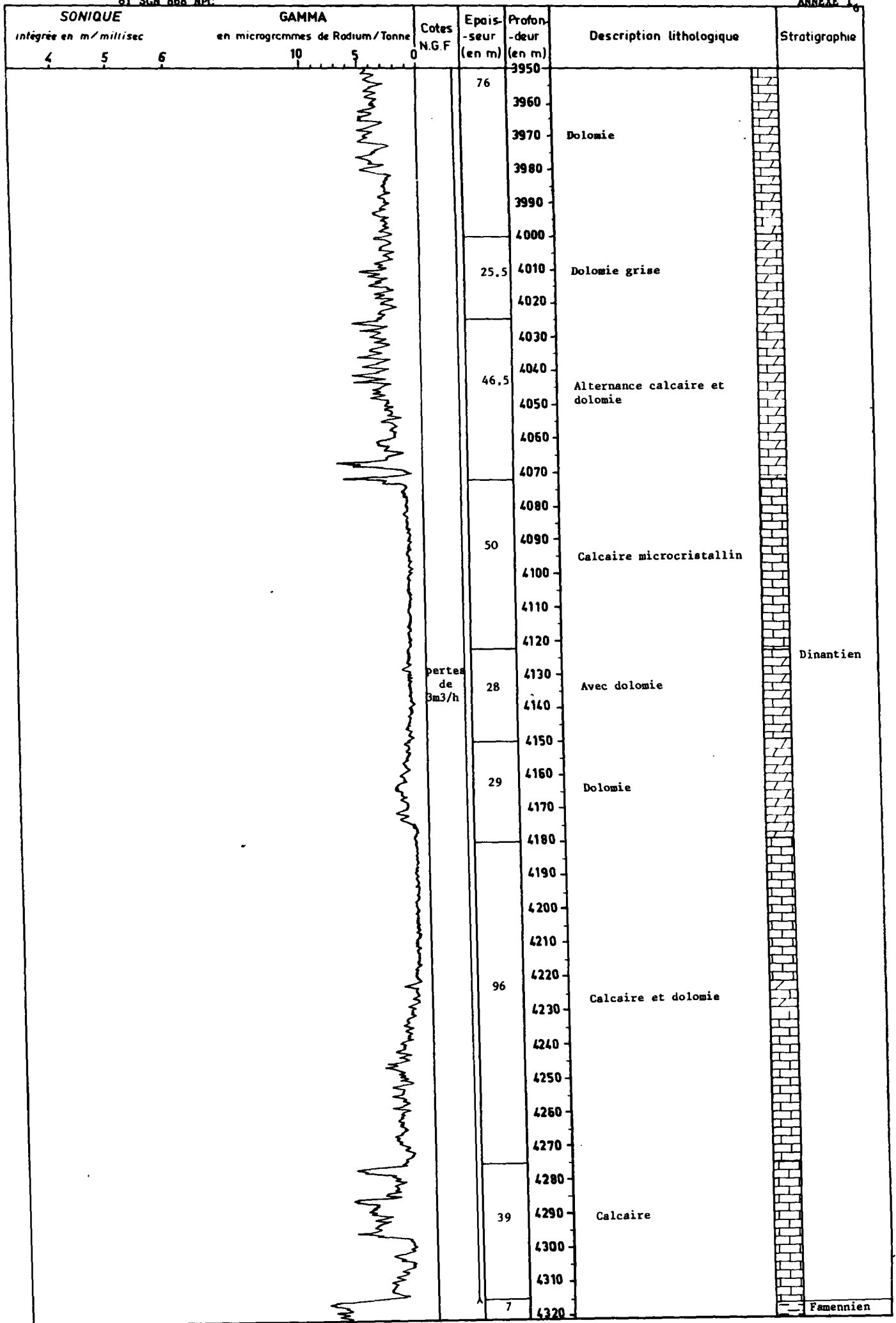
Date d'exécution: achevé le 29/8/1964

Emplacement: Harpent

Coordonnées Lambert: X = 724, 26 Y = 290, 49

Altitude: Z = + 146 m RNC





perdes de 3m3/h

81 SGN 868 NPC

COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE

ETUDE DES POSSIBILITES D'EXPLOITATION

D'EAU CHAUDE DANS LE HAINAUT

CONTRAT N° EG-C-009-R/RS

Résultats des analyses isotopiques sur roches

SONDAGE DE DOUVRAIN (BELGIQUE)

INDICE NATIONAL= 139W352

RESULTATS DES ANALYSES ISOTOPIQUES SUR ROCHES

Profondeur en mètres	N° carottage	Lithologie	Stratigraphie	% carbonates	$\delta^{13}\text{C}^{\circ}/\text{‰VS}$ PDB	$\delta^{18}\text{O}^{\circ}/\text{‰VS}$ PDB	% sulfates	$\delta^{34}\text{S}^{\circ}/\text{‰VS}$ CDT
1107 m	C2	Calcaire compact siliceux	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V3c)	84,1	-0,6±0,1	-4,8±0,1	0,57	-15,0±0,2
1109 m	C2	Calcaire très fin compact	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V3d)	95,8	+0,7±0,1	-4,1±0,1	0,24	-17,3±0,2
1230 m	C3	Dolomie calcaire	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V3b)	46,6-32,3	-2,3±0,1	-3,6±0,1	1,23	-18,6±0,2
1231 m	C3	Calcaire dolomitique	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V3b)	61,6-16,9	-2,1±0,1	-5,6±0,1	1,68	-22,3±0,2
1339 m	C4	Dolomie calcaire	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V2b)	55,7-41,5	+1,6±0,1	-6,6±0,1	0,39	-19,7±0,2
1340 m	C5	Dolomie grenue	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V2b)	29,2-66,2	+2,9±0,1	-3,5±0,1	0,45	-21,1±0,2

SONDAGE DE SAINT-GHISLAIN (BELGIQUE)

INDICE NATIONAL = 150W387

RESULTATS DES ANALYSES ISOTOPIQUES SUR ROCHES

Profondeur en mètres	N° carottage	Lithologie	Stratigraphie	% carbonates	$\delta^{13}\text{C}^{\circ}/\text{‰VS}$ PDB	$\delta^{18}\text{O}^{\circ}/\text{‰VS}$ PDB	% sulfates	$\delta^{34}\text{S}^{\circ}/\text{‰VS}$ CDT
1763,20 m	Forage entièrement carotté	Dolomie noire microcristalline	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V3c)	21,6-63,1	-4,3±0,1	-5,0±0,1	n.det?	n.det.
1840,20	"	Calcaire noir crypto-cristallin	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V3b)	100	+0,3±0,1	-5,4±0,1	n.det.	n.det.
1941,00	"	Anhydrite noduleuse	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V3b)	n.det.	n.det.	n.det.	75,0	+14,9±0,2
2081,60	"	Anhydrite microcristalline	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V3a)	n.det.	n.det.	n.det.	87,7	+14,0±0,2
2189,20	"	Anhydrite microcristalline	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V2b)	n.det.	n.det.	n.det.	63,0	+15,9±0,2
2189,20	"	Soufre élémentaire en veinuites dans calcaire	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V2b)	n.det.	n.det.	n.det.	n.det.	-12,5±0,2
2211,90	"	Calcaire gris crypto-cristallin à coraux	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V2b)	93,4	+3,4±0,1	-5,9±0,1	n.det.	n.det.
2315,00	"	Anhydrite saccharoïde	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V2a)	n.det.	n.det.	n.det.	75,7	+14,8±0,2
2390,00	"	Anhydrite microcristalline	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V2a)	n.det.	n.det.	n.det.	70,7	+18,6±0,2
2612,80	"	Gypse en inclusions dans argilite	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V2a)	n.det.	n.det.	n.det.	5,0	-11,8±0,2
2749,40	"	Calcaire noir crypto-cristallin à Bellerophon	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V1b)	100	+3,5±0,1	-3,5±0,1	n.det.	n.det.
2948,30	"	Anhydrite microcristalline	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V1a)	n.det.	n.det.	n.det.	62,4	+18,3±0,2
3107,00	"	Anhydrite saccharoïde en veinules dans dolomie	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V1a)	n.det.	n.det.	n.det.	7,3	+18,8±0,2
3143,00	"	Soufre en géode dans calcaire	Calcaire carbonifère DINANTIEN (V1a)	n.det.	n.det.	n.det.	8,4	+14,8±0,2
4307,90	"	Anhydrite noduleux dans calcaire	Calcaire carbonifère DINANTIEN basal (Tn1b)	n.det.	n.det.	n.det.	1,0	+3,5±0,2

CONCENTRATIONS EN MILLIEQUIVALENTS PAR LITRE DES PRINCIPAUX IONS

* * * * * C A T I O N S * * * * * A N I O N S * * * * *																
* IDENTIF.	* DATE	* CA	* MG	* K	* NA	* NH4	* CL	* CO3	* HCO3	* SO4	* NO3	* NO2	* ANIONS	* CATIONS	* SOMME	* * *

* 141	6	* 10-7-1980	* 3.49	2.96	.68	1.70	.03	.54	.00	7.75	.67	.01	.00	8.96	8.86	17.82
* 142	51	* 10-7-1980	* 2.49	2.30	.89	8.20	.03	1.38	.00	8.80	4.10	.01	.00	14.29	13.92	28.21
* 215	146	* 16-7-1980	* 4.49	.90	1.32	4.40	.04	1.30	.00	7.52	2.27	.01	.07	11.17	11.16	22.32
* 216	123	* 31-7-1980	* 13.46	3.53	.07	1.18	.03	.82	.00	9.20	13.06	.01	.00	23.17	23.20	46.44
* 225	243	* 16-7-1980	* 16.97	2.88	.52	9.80	.18	3.50	.00	10.36	17.53	.07	.00	31.46	30.35	61.81
* 97	1	* 1-7-1980	* .10	.80	.24	18.00	.02	4.79	.24	9.00	4.72	.01	.00	18.76	19.15	37.91
* 142	142	* 10-7-1980	* 1.30	1.43	.56	7.64	.04	.65	.00	8.00	1.79	.01	.00	10.53	11.02	21.54
* 142	165	* 1-7-1980	* .30	.99	.34	10.00	.02	1.35	.00	6.92	3.33	.01	.00	11.61	11.65	23.26
* 143	8	* 10-7-1980	* 2.10	2.38	.54	4.10	.03	.56	.00	7.56	1.12	.01	.00	9.25	9.14	18.39
* 143	27	* 24-7-1980	* 3.09	2.83	.48	2.96	.02	.56	.00	7.64	.85	.01	.00	9.06	9.44	18.50
* 143	91	* 10-7-1980	* 1.00	1.64	.49	9.50	.05	1.38	.00	6.08	5.03	.01	.00	12.51	12.68	25.19
* 143	102	* 1-7-1980	* 4.19	2.79	.41	1.66	.01	.59	.00	7.44	.79	.05	.00	8.87	9.06	17.93
* 144	2	* 1-7-1980	* 5.89	3.04	.33	1.46	.02	.96	.00	7.56	2.45	.01	.00	10.98	10.74	21.72
* 144	112	* 10-7-1980	* 4.19	2.96	.49	3.32	.05	.76	.00	7.11	2.83	.01	.00	10.71	11.01	21.73
* 144	118	* 10-7-1980	* 2.99	2.96	.51	3.43	.01	.62	.00	7.75	1.35	.01	.00	9.73	9.91	19.64
* 144	140	* 17-9-1980	* 2.69	2.55	.49	4.91	.02	.70	.00	7.97	2.23	.01	.01	10.91	10.67	21.58
* 144	162	* 10-7-1980	* 4.09	2.55	.36	2.39	.02	.68	.00	7.47	1.19	.01	.00	9.35	9.41	18.75
* 144	184	* 10-7-1980	* 2.99	2.96	.51	3.61	.01	.56	.00	7.87	1.29	.01	.00	9.73	10.08	19.81
* 144	196	* 24-7-1980	* 1.10	1.23	.50	9.00	.01	.79	.00	7.72	3.00	.01	.00	11.51	11.84	23.35
* 144	200	* 1-9-1980	* 6.29	3.45	.34	1.42	.02	1.13	.00	7.39	2.64	.01	.00	11.17	11.52	22.69
* 146	458	* 1-7-1980	* 3.99	2.71	.57	9.40	.02	2.65	.00	6.56	7.80	.01	.00	17.02	16.69	33.71
* 146	474	* 1-7-1980	* 2.30	1.81	.46	9.20	.03	1.69	.00	8.28	4.10	.01	.00	14.08	13.79	27.87
* 147	20	* 10-7-1980	* 1.40	1.97	.48	8.90	.03	1.18	.00	7.93	3.89	.01	.00	13.02	12.77	25.79
* 147	134	* 1-7-1980	* 2.89	3.21	.51	7.11	.02	1.95	.00	6.11	5.49	.01	.00	13.56	13.74	27.31
* 147	231	* 10-7-1980	* .20	1.07	.22	13.30	.05	1.24	.00	9.39	3.64	.01	.00	14.28	14.84	29.12
* 148	12	* 1-7-1980	* 3.09	3.29	.62	4.60	.04	.90	.00	8.16	2.20	.01	.00	11.28	11.65	22.92
* 151	16	* 10-7-1980	* 7.17	2.71	.26	1.30	.03	1.30	.00	7.36	3.27	.01	.00	11.93	11.49	23.42
* 204	160	* 10-7-1980	* 4.79	2.47	.42	4.36	.02	1.10	.00	6.61	4.49	.01	.00	12.21	12.06	24.27
* 207	7	* 16-7-1980	* 2.40	1.89	.52	6.64	.03	2.37	.00	6.00	3.60	.01	.00	11.98	11.48	23.45
* 97W	605	* 3-10-1980	* 3.79	2.96	.44	1.96	.02	.56	.00	7.67	.75	.01	.00	8.99	9.17	18.16

* 24E 238	* 3-10-1980	* 7.33	2.55	.81	2.62	.01	1.89	.00	6.67	4.12	1.30	.00	13.98	13.87	27.84
* 213 2	* 22-10-1980	* 3.49	2.63	.18	.54	.01	.51	.00	5.97	.94	.01	.00	7.42	6.85	14.27
* 217 6	* 18-10-1977	* 12.28	6.37	1.69	2.02	.02	1.89	.00	5.00	14.60	.01	.00	21.50	22.38	43.88
* 217 102	* 18-10-1977	* 8.38	4.93	.12	1.40	.02	1.21	.00	5.36	8.69	.01	.00	15.28	14.85	30.13
* 217 122	* 18-10-1977	* 10.48	6.74	.15	1.96	.03	1.75	.00	5.11	12.90	.01	.00	19.77	19.36	39.13
* 217 178	* 17-10-1977	* 8.88	3.95	.11	1.28	.02	1.13	.00	5.36	7.74	.01	.00	14.23	14.24	28.47
* 39	* 10- 1-1980	* 12.57	4.19	.15	2.44	.01	2.14	.00	3.39	14.10	.01	.00	19.65	19.36	39.01
* 50	* 10- 1-1980	* 20.96	10.03	.19	2.86	.03	2.14	.00	3.28	27.25	.01	.00	32.68	34.07	66.75
* 142 168	* 10- 7-1980	* 1.80	1.73	.65	5.72	.04	.42	.00	7.97	1.33	.01	.00	9.73	9.93	19.66
* 143 42	* 10- 7-1980	* 3.69	3.12	.95	3.06	.04	.37	.00	9.36	.69	.01	.00	10.42	10.87	21.29
* 146 20	* 10- 7-1980	* 10.58	.99	.59	3.00	.01	2.28	.00	6.75	4.76	1.72	.00	15.52	15.16	30.67
* 146 463	* 10- 7-1980	* 10.98	.70	.26	2.58	.01	2.14	.00	6.08	4.12	2.54	.00	14.88	14.52	29.40
* 146 619	* 10- 7-1980	* 3.59	2.55	.59	3.60	.03	.90	.00	8.24	1.27	.01	.00	10.42	10.36	20.79
* 147 27	* 10- 7-1980	* 9.38	.60	.03	1.60	.01	2.45	.00	5.39	3.45	.66	.00	11.96	11.62	23.58
* 147 218	* 10- 7-1980	* 9.98	.48	.10	1.60	.01	1.58	.00	5.24	4.10	1.36	.00	12.28	12.16	24.44
* 148 4	* 1- 7-1980	* 8.78	2.14	.25	1.00	.01	1.38	.00	7.44	3.24	.01	.00	12.08	12.18	24.25
* 148 7	* 1- 7-1980	* 4.89	3.21	.36	4.98	.02	1.30	.00	8.24	3.10	.01	.00	12.65	13.16	25.81
* 155 23	* 10- 7-1980	* 9.98	1.23	.51	1.22	.01	1.75	.00	5.92	4.49	.78	.00	12.94	12.95	25.89
* 1940 15	* 29-11-1977	* 3.19	1.73	.17	1.54	.01	1.80	.00	2.84	1.85	.08	.00	6.38	6.63	13.01
* 198 44	* 27- 4-1976	* 5.59	.88	.21	1.90	.01	1.30	.00	5.03	.85	1.05	.00	8.23	8.58	16.81
* 198 118	* 6- 4-1976	* 6.89	.53	.26	3.35	.35	2.59	.00	5.83	3.64	.01	.00	12.08	11.38	23.45
* 198 267	* 6- 1-1976	* 7.04	.11	.08	2.13	.01	2.20	.00	4.56	.94	1.37	.00	9.06	9.36	18.42
* 2010 74	* 13-12-1972	* 6.44	4.59	.91	11.00	.01	6.60	.00	7.54	9.59	.40	.00	24.13	22.95	47.08
* 201A 117	* 1- 2-1977	* 5.99	2.63	.26	1.61	.03	1.02	.00	8.16	1.19	.01	.00	10.37	10.61	20.99
* 201A 119	* 22- 5-1975	* 6.99	.99	.13	1.83	.01	1.75	.00	6.97	1.68	.01	.00	10.41	9.93	20.34
* 2018 1	* 18- 9-1978	* 7.14	1.28	.18	1.77	.02	1.80	.00	7.08	1.92	.07	.00	10.87	10.39	21.27
* 201 122	* 3-10-1973	* 8.18	2.14	.18	2.17	.01	1.69	.00	5.69	3.85	.89	.00	12.11	12.68	24.79
* 2023 59	* 12- 6-1978	* 7.10	1.15	.19	1.09	.01	1.13	.00	6.88	1.56	.28	.00	9.91	9.62	19.53
* 202 122	* 12-12-1978	* 7.24	.95	.23	3.00	.01	2.80	.00	6.14	1.56	.62	.00	11.12	11.41	22.53
* 203 41	* 16- 7-1980	* 4.49	1.56	.22	.34	.02	.48	.00	5.97	.60	.01	.00	7.06	7.13	14.19
* 2038 49	* 11- 7-1974	* 4.44	.58	.28	1.26	.01	1.30	.00	3.39	1.68	.43	.00	6.81	6.56	13.38
* 205 17	* 23- 2-1977	* 7.19	1.32	.07	5.00	.01	3.07	.00	6.61	3.08	1.03	.00	13.79	13.58	27.37
* 205 126	* 10- 8-1977	* 6.29	1.48	.08	2.87	.01	1.18	.00	5.64	3.79	.35	.00	10.96	10.73	21.69
* 205 128	* 10- 3-1977	* 7.98	1.43	.20	7.74	.32	5.92	.00	6.75	4.85	.30	.00	17.82	17.72	35.55
* 205 129	* 10- 3-1977	* 7.98	1.43	.20	7.74	.32	5.92	.00	6.75	4.85	.30	.00	17.82	17.72	35.55
* 205 130	* 10- 8-1977	* 7.78	2.22	.22	4.83	.01	4.12	.00	6.08	4.14	.83	.00	15.17	15.05	30.22
* 206 13	* 10-11-1970	* 6.64	2.63	.15	2.04	.01	1.30	.00	5.20	4.74	.58	.00	11.82	11.47	23.29
* 206 66	* 10-11-1972	* 5.39	1.23	.26	.78	.01	.62	.00	5.83	.96	.16	.00	7.57	7.47	15.04
* 206 75	* 12- 3-1977	* 4.89	.90	.05	.65	.01	.54	.00	5.64	.42	.23	.00	6.82	6.50	13.32
* 206 185	* 10-11-1970	* 5.19	1.64	.10	.74	.01	.79	.00	5.74	.54	.39	.00	7.45	7.68	15.13
* 207 9	* 5-11-1970	* 9.18	4.52	.46	3.35	.11	3.10	.00	6.00	8.53	.00	.00	17.63	17.62	35.25
* 207 103	* 5-11-1970	* 4.59	3.12	.61	1.43	.01	.73	.00	7.52	1.37	.01	.00	9.64	9.77	19.41
* 207 111	* 10- 7-1980	* 5.39	2.38	.40	1.40	.02	.79	.00	7.56	1.23	.01	.00	9.58	9.59	19.18
* 207 167	* 5-11-1977	* 5.59	5.43	.49	1.43	.01	1.13	.00	7.13	3.76	.01	.00	12.03	12.94	24.97
* 208 2	* 16- 7-1980	* 1.10	1.32	.46	5.96	.04	.99	.00	6.16	1.35	.01	.00	8.51	8.87	17.38
* 208 10	* 2- 6-1977	* 1.10	1.40	.49	5.70	.01	.82	.00	6.56	1.50	.01	.00	8.88	8.68	17.56
* 208 122	* 16- 7-1980	* .90	1.15	.40	7.68	.03	2.09	.00	5.33	2.64	.01	.00	10.06	10.15	20.22
* 213 2	* 20-12-1979	* 4.99	.63	.16	.56	.01	.65	.00	3.39	2.00	.45	.00	6.49	6.35	12.83
* 213 81	* 16- 7-1980	* 5.49	1.81	.05	.40	.01	.45	.00	6.20	1.10	.01	.00	7.76	7.75	15.51
* 215 3	* 21-10-1976	* 6.29	2.26	.28	1.37	.01	1.49	.00	7.64	1.83	.01	.00	10.97	10.81	21.78

* 215	44	* 20-12-1979	* 7.09	2.79	.48	1.90	.02	1.66	.00	7.82	2.35	.43	.00	12.26	12.28	24.55
* 215	47	* 17-10-1979	* 2.69	2.30	.55	4.60	.03	1.47	.00	5.88	3.10	.01	.00	10.46	10.18	20.64
* 215	48	* 16- 7-1980	* 3.19	2.79	.52	4.10	.04	1.27	.00	7.28	2.12	.01	.00	10.68	10.65	21.33
* 215	49	* 17-10-1979	* 2.42	2.15	.52	5.30	.03	1.33	.00	5.67	3.37	.01	.00	10.88	10.51	21.39
* 216	13	* 21-12-1979	* 2.59	2.93	.49	6.44	.03	3.19	.00	5.24	3.27	.01	.00	11.71	12.49	24.19
* 216	14	* 10- 7-1980	* 2.40	1.23	.31	1.46	.01	.25	.00	3.25	1.75	.01	.00	5.26	5.41	10.66
* 216	15	* 16-10-1979	* 4.99	2.22	.39	1.38	.03	.59	.00	7.56	.94	.01	.00	9.09	9.00	18.10
* 216	21	* 11- 8-1977	* 3.79	3.21	.56	3.26	.01	.73	.00	6.64	2.95	.01	.00	10.33	10.83	21.16
* 216	106	* 27-12-1979	* 2.99	2.01	.49	6.10	.02	2.20	.00	6.24	3.12	.01	.00	11.57	11.62	23.19
* 216	118	* 20-12-1979	* 3.79	3.24	.55	3.12	.03	.76	.00	6.80	3.10	.01	.00	10.67	10.73	21.40
* 217	3	* 9- 1-1980	* 4.69	2.96	.49	1.34	.03	1.04	.00	6.52	1.60	.01	.00	9.18	9.51	18.68
* 217	4	* 19-10-1979	* 11.48	4.97	.16	2.02	.02	1.69	.00	4.84	12.74	.01	.00	19.24	18.65	37.90
* 217	5	* 27-12-1979	* 8.18	3.52	.29	1.40	.02	1.78	.00	6.75	4.99	.01	.00	13.53	13.41	26.94
* 217	30	* 17-10-1979	* 5.29	3.70	.42	2.24	.03	2.03	.00	5.39	4.53	.01	.00	11.97	11.68	23.64
* 217	63	* 19-10-1979	* 11.48	5.75	.16	2.02	.00	1.69	.00	5.00	12.96	.01	.00	19.66	19.41	39.07
* 217	71	* 16-10-1979	* 4.89	4.15	.48	3.50	.03	.99	.00	5.61	6.47	.01	.00	13.07	13.05	26.12
* 217	103	* 13-12-1979	* 4.09	2.79	.57	2.46	.03	.68	.00	7.16	2.00	.01	.00	9.85	9.95	19.79
* 217	115	* 19-10-1979	* 11.48	5.96	.18	2.10	.03	1.78	.00	5.00	12.79	.01	.00	19.58	19.74	39.32
* 217	126	* 25-10-1979	* 11.48	7.81	.19	2.34	.03	1.92	.00	5.00	15.08	.01	.00	22.01	21.84	43.85
* 217	148	* 18-10-1979	* 11.38	5.34	.17	2.00	.03	2.06	.00	4.84	12.02	.01	.00	18.93	18.92	37.84
* 218	116	* 8- 1-1980	* 5.59	.56	.14	.58	.01	.70	.00	4.20	1.89	.01	.00	6.80	6.87	13.68
* 218	156	* 18- 5-1978	* 6.79	1.15	.24	1.16	.03	.79	.00	7.20	1.64	.01	.00	9.64	9.37	19.00
* 225	11	* 16- 7-1980	* 8.58	1.07	.06	.62	.01	.79	.00	6.28	3.64	.01	.00	10.72	10.34	21.05
* 225	243	* 16- 7-1980	* 4.39	2.38	.39	.70	.03	.31	.00	7.56	.12	.01	.00	8.00	7.89	15.89
* 264	31	* 12- 8-1977	* 5.69	.90	.16	.74	.01	.65	.00	5.39	.42	.96	.00	7.42	7.49	14.91
* 264	46	* 12- 8-1977	* 4.79	.90	.41	.42	.01	.39	.00	5.44	.10	.38	.00	6.32	6.53	12.85
* 271	2	* 23- 5-1979	* 7.73	1.09	1.56	1.77	.01	1.30	.00	6.24	2.58	1.96	.00	12.09	12.16	24.25
* 271	3	* 10- 3-1977	* 5.79	1.23	.04	.57	.01	.59	.00	6.16	.23	.86	.00	7.84	7.63	15.48
* 271	5	* 12- 8-1977	* 5.79	1.48	.64	1.39	.01	1.30	.00	6.03	.67	1.72	.00	9.71	9.30	19.02
* 271	15	* 10- 8-1977	* 5.99	.90	.15	.70	.01	.79	.00	5.56	.71	.90	.00	7.95	7.74	15.70
* 271	22	* 23- 5-1979	* 6.38	.42	.20	1.37	.01	1.55	.00	5.15	.85	.85	.00	8.40	8.37	16.77
* 271	23	* 15- 7-1977	* 5.59	1.20	.12	.74	.01	.79	.00	5.80	.27	.60	.00	7.46	7.65	15.11
* 271	29	* 21- 2-1977	* 5.19	.44	.08	.65	.01	.68	.00	4.39	.33	.95	.00	6.35	6.38	12.73
* 271	35	* 7- 2-1977	* 4.79	.64	.03	.48	.01	.34	.00	5.00	.20	.40	.00	5.94	5.95	11.88
* 271	37	* 12- 8-1977	* 5.09	.62	.07	.52	.01	.54	.00	5.33	.17	.60	.00	6.53	6.30	12.93
* 272	2	* 17-11-1970	* 6.44	1.15	.05	1.26	.01	1.13	.00	5.28	1.83	.60	.00	8.83	8.91	17.74
* 272	25	* 26- 2-1976	* 4.99	1.07	.11	.70	.01	.66	.00	5.39	.54	.58	.00	7.19	6.27	14.06
* 272	40	* 5-11-1977	* 5.29	1.56	.31	.37	.01	1.02	.00	5.28	.89	.77	.00	7.96	8.03	15.99
* 272	43	* 19- 9-1972	* 5.14	.60	.07	.52	.01	.51	.00	5.11	.18	.31	.00	6.11	6.34	12.45
* 272	62	* 17-11-1970	* 5.44	.90	.08	.52	.01	.90	.00	5.00	.23	.47	.00	6.60	6.95	13.55
* 273	32	* 22-10-1970	* 5.64	1.48	.46	.37	.01	.90	.00	6.13	1.41	.24	.00	8.69	8.61	17.30
* 273	38	* 16- 8-1977	* 4.39	1.39	.06	.52	.01	.56	.00	5.75	1.06	.23	.00	7.61	7.36	14.97
* 273	5	* 25- 3-1977	* 4.69	1.81	.08	.84	.05	.37	.00	5.44	.94	.01	.00	7.26	7.47	14.73
* 273	58	* 6- 4-1978	* 7.48	2.10	.13	.87	.01	1.04	.00	6.47	3.00	.01	.00	10.52	10.59	21.11
* 273	76	* 6-10-1970	* 6.94	1.15	.41	1.04	.01	1.02	.00	6.46	1.23	.87	.00	9.57	9.55	19.12
* 274	6	* 16- 7-1980	* 5.87	1.40	.16	.79	.01	.62	.00	6.92	.71	.01	.00	8.25	8.24	16.50
* 274	32	* 30- 9-1970	* 6.59	.49	.20	.70	.01	.62	.00	6.33	.62	.42	.00	7.99	8.09	16.08
* 274	39	* 30- 9-1970	* 6.34	1.15	.13	.52	.01	.63	.00	6.56	.92	.01	.00	8.16	8.34	16.50
* 274	44	* 21- 2-1978	* 5.69	1.56	.17	.62	.01	.54	.00	6.61	.83	.01	.00	7.98	8.05	16.03
* 274	47	* 28- 4-1977	* 5.79	1.41	.08	.70	.01	.73	.00	7.16	.03	.01	.00	7.99	7.97	15.96

* 274	26	* 11- 2-1970 *	7.09	5.43	2.46	.28	.35	3.67	.00	7.00	5.70	.55	.07	17.04	15.60	32.64
* 274	182	* 16- 8-1977 *	8.08	1.23	.13	1.83	.01	1.44	.00	5.97	3.43	.67	.00	11.51	11.28	22.78
* 275	6	* 23- 5-1979 *	5.72	.39	.07	.65	.01	.62	.00	5.15	.37	.61	.00	6.75	6.83	13.58
* 275	10	* 17- 1-1978 *	5.57	.81	.08	.67	.01	.55	.00	5.90	.19	.39	.00	7.02	7.14	14.16
* 275	31	* 7- 2-1977 *	4.79	.64	.03	.48	.01	.34	.00	5.00	.20	.40	.00	5.94	5.95	11.86
* 275	36	* 17- 1-1978 *	5.15	.62	.03	.46	.01	.39	.00	5.29	.15	.37	.00	6.21	6.27	12.47
* 276	19	* 23- 5-1979 *	5.37	1.06	.04	.47	.01	.45	.00	6.10	.21	.37	.00	7.08	7.15	14.23
* 276	27	* 17- 1-1978 *	6.23	.84	.03	.70	.02	.79	.00	5.95	.79	.20	.00	7.73	7.81	15.54
* 276	31	* 7- 3-1978 *	8.98	1.23	.45	1.78	.01	2.11	.00	7.60	1.85	.69	.00	12.26	12.34	24.61
* 276	33	* 27- 5-1977 *	5.49	1.14	.06	.48	.01	.51	.00	5.67	.40	.49	.00	7.07	7.17	14.24
* 276	48	* 8- 6-1977 *	6.09	1.34	.14	.65	.01	1.34	.00	7.31	.69	.01	.00	9.64	8.23	17.87
* 277	1	* 16- 1-1978 *	6.38	1.18	.11	.88	.01	.76	.00	6.05	1.50	.23	.00	8.53	8.56	17.10
* 277	11	* 28- 6-1979 *	6.38	1.27	.05	.65	.01	.82	.00	7.05	.69	.05	.00	8.60	8.35	16.95
* 277	15	* 17- 5-1977 *	5.19	1.00	.05	.48	.01	.45	.00	5.75	.25	.30	.00	6.75	6.73	13.48
* 277	16	* 17- 5-1977 *	5.09	.74	.17	.74	.01	.76	.00	5.44	.67	.65	.00	7.52	7.34	14.86
* 277	83	* 5- 5-1977 *	6.29	1.10	.11	.82	.01	.76	.00	6.11	1.44	.22	.00	8.53	8.33	16.86
* 278	4	* 13- 4-1977 *	7.53	.24	.15	.68	.01	.73	.00	6.20	1.00	.42	.00	8.35	8.56	16.90
* 278	5	* 27- 5-1977 *	5.67	1.18	.08	.48	.01	.59	.00	6.47	.29	.38	.00	7.74	7.43	15.17
* 278	13	* 25-10-1977 *	6.69	1.15	.08	.52	.01	.68	.00	6.47	.79	.26	.00	8.20	8.44	16.65
* 278	17	* 27- 5-1977 *	7.29	.66	.26	.96	.01	.85	.00	6.80	1.30	.37	.00	9.32	9.16	18.48
* 278	19	* 17- 5-1977 *	5.69	1.54	.04	.50	.01	.51	.00	6.88	.15	.59	.00	8.13	7.77	15.90
* 278	49	* 9- 7-1979 *	5.74	.80	.11	.50	.01	.55	.00	6.00	.40	.23	.00	7.18	7.16	14.33
* 278	61	* 27- 5-1977 *	5.09	1.10	.08	.91	.01	.93	.00	5.52	.30	.30	.00	7.05	7.19	14.24
* 281	25	* 7- 9-1977 *	10.48	1.56	.22	3.13	.01	2.45	.00	6.72	6.05	.30	.00	15.53	15.39	30.92
* 281	4	* 28- 6-1979 *	6.36	.74	.13	.63	.01	.37	.00	6.05	.71	.63	.00	8.26	8.06	16.32
* 281	7	* 9- 6-1977 *	9.08	1.34	.19	2.22	.01	2.31	.00	6.36	4.14	.01	.00	12.82	12.83	25.65
* 281	75	* 7- 9-1977 *	10.48	1.56	.22	3.13	.01	2.45	.00	6.72	6.05	.30	.00	15.53	15.39	30.92
* 282	94	* 6- 4-1978 *	6.69	.32	.05	.78	.01	.99	.00	5.72	.77	.55	.00	8.03	8.34	16.37
* 282	227	* 8- 1-1980 *	5.09	1.51	.52	1.92	.03	.56	.00	7.56	.98	.01	.00	9.11	9.07	18.18
* 283	236	* 13-12-1972 *	7.29	1.07	.11	.96	.12	1.04	.00	7.11	1.46	.12	.00	9.73	9.55	19.28
* 285	17	* 10- 9-1970 *	6.29	1.15	.18	.52	.01	.79	.00	6.75	.50	.40	.01	8.45	8.14	16.59
* 285	27	* 12- 5-1977 *	6.49	.62	.14	.65	.01	.70	.00	6.11	.56	.86	.00	8.24	7.90	16.14
* 285	57	* 12- 5-1977 *	6.49	.70	.07	.73	.01	.87	.00	6.67	.42	.36	.00	8.32	8.05	16.37
* 285	59	* 29- 3-1978 *	8.23	.62	.12	1.06	.01	1.35	.00	6.26	2.10	.53	.00	10.26	10.04	20.30
* 285	60	* 0- 0-1900 *	7.44	1.23	.10	1.35	.01	1.69	.00	5.04	.40	2.14	.01	9.87	10.12	20.00
* 285	68	* 28- 6-1979 *	5.15	.44	.02	.35	.01	.36	.00	5.24	.10	.30	.00	6.01	5.97	11.98
* 285	73	* 12- 5-1977 *	5.99	.78	.05	.52	.01	.52	.00	6.44	.54	.62	.00	8.22	7.35	15.57
* 285	78	* 11- 2-1970 *	6.29	1.56	.03	.57	.01	.73	.00	6.06	1.73	.23	.00	8.75	8.50	17.25
* 285	123	* 18- 5-1977 *	5.49	1.10	.05	.58	.01	.65	.00	5.75	.62	.38	.00	7.41	7.23	14.63
* 286	49	* 9- 3-1978 *	6.49	1.15	.04	.44	.01	.68	.00	6.16	.94	.39	.00	8.17	8.12	16.28
* 286	120	* 16- 5-1977 *	7.24	1.22	.15	1.01	.01	1.35	.00	5.80	1.25	1.29	.00	9.69	9.62	19.31
* 286	269	* 10- 3-1977 *	6.29	1.30	.10	.65	.01	.90	.00	5.92	.81	.64	.00	8.28	8.34	16.62
* 287	101	* 13-12-1972 *	5.79	1.50	.04	.34	.01	.45	.00	6.47	.54	.49	.00	7.96	7.73	15.69
* 288	10	* 13-12-1972 *	5.39	2.22	.13	1.36	.01	1.41	.00	6.16	1.64	.26	.00	9.48	9.61	19.08

81 SGN 868 NPC

COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE

ETUDE DES POSSIBILITES D'EXPLOITATION

D'EAU CHAUDE DANS LE HAINAUT

CONTRAT N° EG-C-009-R/RS

Résultats des analyses isotopiques

	Indice national	Commune	$^3\text{H}_{\text{UT}}$	$\delta \text{D}^{\circ}/\text{‰}$ $\pm 0,5$	$\delta^{18}\text{O}^{\circ}/\text{‰}$ $\pm 0,1$	$\delta^{34}\text{S}^{\circ}/\text{‰}$ sulfates	Aquifère capté
1	9-7D-001	Halluin	≤ 1	-56,3	-8,3	+17,9	Calcaire
2	14-1D-006	Pérenchies	≤ 1	-45,1	-7,3	-27,0	Sable
3	14-2C-051	Quesnoy/Deule	6 ± 3	-52,6	-7,4	-33,5	Sable
4	14-2D-142	Wambrechies	3 ± 1	-54,2	-8,1	+13,6	Calcaire
5	14-2A-165	Comines	33 ± 4	-54,2	-8,1	+12,7	Calcaire
6	14-3A-008	Linselles	≤ 1	-51,3	-8,0	+1,2	Calcaire + craie (?)
7	14-3B-027	Roncq	6 ± 2	-48,2	-7,1	-3,3	Calcaire
8	14-3D-042	Wasquehal	≤ 1	-48,5	-7,4	-16,1	Craie
9	14-3D-091	Mouvoux	≤ 1	-55,1	-8,3	+15,0	Calcaire
10	14-3B-102	Tourcoing	≤ 1	-46,4	-7,4	-9,4	Calcaire
11	14-4D-002	Roubaix	31 ± 4	-46,8	-7,0	-8,5	Calcaire
12	14-4C-112	Roubaix	≤ 1	-47,7	-7,5	-7,9	Calcaire
13	14-4C-118	Roubaix	≤ 1	-48,4	-7,1	-0,8	Calcaire
14	14-4C-140	Roubaix	14 ± 2	-48,1	-7,2	-1,5	Calcaire
15	14-4A-162	Tourcoing	≤ 1	-46,9	-7,5	-8,8	Calcaire
16	14-4C-184	Tourcoing	12 ± 2	-48,5	-7,6	-1,9	Calcaire
17	14-4C-196	Wattrelos	16 ± 3	-51,8	-7,8	-29,4	Calcaire
18	14-4D-200	Wattrelos	16 ± 3	-45,9	-7,0	-10,5	Calcaire
19	14-6B-020	Lille	55 ± 5	-46,8	-7,0	-1,6	Craie
20	14-6C-458	Loos	4 ± 1	-49,6	-7,5	+5,2	Calcaire
21	14-6D-463	Loos	5 ± 2	-46,4	-6,8	-0,9	Craie
22	14-6B-474	Marquette	≤ 1	-50,1	-7,3	+12,0	Calcaire
23	14-6A-619	Pérenchies	3 ± 1	-46,6	-7,0	-4,5	Craie
24	14-7C-020	Lille	10 ± 2	-50,8	-7,8	+11,6	Calcaire
25	14-7D-027	Lesquin	64 ± 6	-46,4	-7,3	-0,7	Craie
26	14-7D-134	Lesquin	19 ± 3	-54,3	-7,9	+15,5	Calcaire
27	14-7D-218	Hellemmes	24 ± 3	-46,4	-7,3	-0,5	Craie
28	14-7B-231	Mons-en-Baroeul	9 ± 2	-50,4	-7,1	+13,2	Calcaire
29	14-8A-004	Villeneuve-d'Ascq	48 ± 5	-44,2	-7,1	-12,5	Craie (sous alluvions)
30	14-8A-007	Villeneuve-d'Ascq	33 ± 4	-47,1	-7,2	-7,0	Craie+calcaire
31	14-8A-012	Villeneuve-d'Ascq	10 ± 2	-47,8	-7,3	-4,6	Calcaire
32	15-1C-016	Leers	15 ± 3	-46,2	-8,1	-9,1	Calcaire
33	15-5C-023	Baisieux	86 ± 7	-46,5	-6,9	-2,7	Craie
34	Mouscron	Mouscron	10 ± 2	-47,0	-7,3	-4,2	Calcaire
35	Tournai	Tournai	81 ± 7	-47,5	-6,7	-4,3	Calcaire
36	20-1D-074	Carvin	19 ± 3			-0,6	Craie (sous alluvions)
37	20-2-101	Wahagnies	4 ± 1			-18,1	Craie
38	20-2A-122	Houplin	22 ± 3	-46,0	-6,9	-7,0	Craie
39	20-3D-041	Pont-à-Marcq	10 ± 2	-45,5	-7,2	-22,9	Craie
40	20-4B-081	Cobrieux	2 ± 1	-56,1	-7,9	-0,3	Sable + craie/+ calcaire
41	20-4B-160	Cysoing	12 ± 2	-52,4	-7,9	+5,6	Calcaire-
42	20-5-126	Estevelles	13 ± 2	-44,4	-6,9	-1,7	Craie
43	20-5-129	Harnes	32 ± 4			+0,2	Craie
44	20-5-130	Harnes	16 ± 3			-0,4	Craie
(45)	20-6-036	Evin-Malmaison	≤ 1	-44,8	-6,9	-32,7	Craie
(46)	20-6-075	Courcelles-les- Lens	2 ± 1	-45,5	-7,1	-13,7	Craie
47	20-7-007	Thumeries	≤ 1	-54,1	-7,9	-10,4	Calcaire (?)
(48)	20-7-009	Auby	20 ± 3			-6,8	Craie (sous alluvions)
(49)	20-7-111	Râches	14 ± 2	-46,9	-6,9	-21,0	Craie
50	20-8-002	Auchy	≤ 1	-56,7	-7,9	-9,4	Craie

RESULTATS DES ANALYSES ISOTOPIQUES

	Indice national	Commune	$^3\text{H}_{\text{UT}}$	$\delta^2\text{H}^\circ/\text{‰}$ +0,5	$\delta^{18}\text{O}^\circ/\text{‰}$ +0,1	$\delta^{34}\text{S}^\circ/\text{‰}$ +0,2	Aquifère capté
51	20-8-122	Orchies	11+2	-56,4	-8,0	+ 0,1	Craie
52	21-3-002	Maulde		-47,1	-7,2		Calcaire
53	21-3-009	Maulde	12+2	-45,8	-7,1	-12,7	Craie
54	21-3-081	Mortagne	26+3	-46,5	-6,7	+ 4,1	Craie
(55)	21-5-044	Marchiennes	79+7	-45,8	-6,8	-21,9	Craie
56	21-5-047	Beuvry	≤1	-56,5	-8,3	- 6,2	Craie
57	21-5-048	Bouvignies	≤1	-50,8	-7,5	- 4,3	Craie
58	21-5-049	Beuvry	3+1	-55,4	-8,1	- 5,1	Craie
59	21-5-146	Bouvignies	≤1	-47,8	-7,1	- 6,9	Sable
60	21-6-013	Rosult	51+5	-55,8	-8,6	- 0,2	Craie
61	21-6-014	Hasnon	≤1	-51,6	-7,5	- 7,3	Craie
(62)	21-6-015	Warlaing	8+2	-47,5	-7,3	-16,9	Craie
63	21-6-106	Saint-Amand	12+2	-54,5	-8,1	- 0,2	Craie
64	21-6-118	Millonfosse	53+5	-52,8	-8,2	+ 7,4	Craie
65	21-6-123	Hasnon	88+7	-49,3	-7,3	+ 0,9	Sable
(66)	21-7-003	Raismes	7+2	-49,1	-7,2	- 4,4	Craie
67	21-7-004	Saint-Amand	31+4	-53,1	-7,9	+15,6	Craie
68	21-7-005	Saint-Amand	34+4	-46,1	-7,0	-12,7	Craie
(69)	21-7-006	Saint-Amand	2+1	-53,8	-8,0	+15,4	Calcaire
70	21-7-030	Saint-Amand	7+2	-49,6	-7,5	- 2,1	Craie
71	21-7-063	Saint-Amand	≤1	-53,1	-7,9	+15,1	Craie
72	21-7-071	Lecelles	6+2	-51,1	-7,7	+13,4	Craie
(73)	21-7-102	Saint-Amand	2+1	-50,8	-7,8	+14,8	Calcaire
74	21-7-103	Saint-Amand	50+5	-49,2	-7,4	- 5,8	Craie
75	21-7-115	Saint-Amand	≤1	-53,2	-8,1	+15,2	Craie
(76)	21-7-122	Saint-Amand	2+1	-53,3	-8,1	+12,9	Calcaire
77	21-7-126	Saint-Amand	≤1	-54,1	-8,0	+15,8	Craie
78	21-7-148	Saint-Amand	≤1	-54,0	-8,0	+15,7	Craie
(79)	21-7-178	Saint-Amand	≤1	-50,5	-7,9	+13,5	Calcaire
(80)	21-8-116	Bruay-sur-Escaut	16+3	-46,8	-7,1	- 9,0	Craie
(81)	22-5-011	Vicq	2+1	-46,3	-7,0	-27,4	Craie
82	22-5-243	Fresnes	≤1	-47,5	-7,0	+22,9	Craie (?)
83	22-5-243b	Fresnes	17+3	-42,1	-5,7	+ 3,7	Sable
(84)	Douvrain	)	18+3	-57,4	-8,9	+16,5	Calcaire
(85)	Douvrain	)	21+3	-57,2	-8,5	+13,3	Calcaire
(86)	St-Ghislain	)	4+1	-58,0	-8,5	+15,4	Calcaire
(87)	St-Ghislain	) Belgique	≤1	-57,3	-8,7	+15,1	Calcaire
88	Fne Bouillante	)	15+3	-46,9	-7,3	+ 3,7	Calcaire + sable
(89)	27-1-002	Oppy	18+3			+ 4,6	Craie
(90)	27-1-003	Oppy	2+1			- 2,0	Craie
(91)	27-1-005	Arleux-en-Gohelle	≤1			- 0,5	Craie
(92)	27-1-015	Neuvireuil	3+1			- 5,9	Craie
(93)	27-1-022	Fresnes-les-Montauban	16+3			- 0,3	Craie
(94)	27-1-037	Rouvroy	5+2	-46,0	-7,3	- 2,8	Craie
(95)	27-3-001	Férin		-44,7	-6,9		Craie
(96)	27-4-006	Pecquencourt	4+2	-47,2	-7,0	-24,1	Craie
(97)	27-4-047	Masny		-45,7	-7,1		Craie
(98)	27-5-006	Guemappe	5+2			+ 1,2	Craie
(99)	27-5-010	Vis-en-Artois	5+2			- 6,7	Craie
(100)	27-5-036	Plouvain	2+1	-45,7	-7,2	- 3,7	Craie
(101)	27-6-019	Dury	4+2			- 3,7	Craie
(102)	27-6-027	Sailly-En-Ostrevant	3+1	-45,2	-7,0	+ 0,4	Craie
(103)	27-6-033	Ecourt-St-Quentin	2+1	-46,0	-7,2	- 1,6	Craie
(104)	27-6-071	Bellonne	17+3			+ 1,9	Sable
(105)	27-7-011	Arleux	7+2			- 2,7	Craie
(106)	27-7-016	Oisy-le-Verger	8+2			-10,8	Craie
(107)	27-7-083	Cantin	19+3			- 5,3	Craie
(108)	27-8-005	Cuvillers	4+2			- 8,5	Craie
(109)	27-8-019	Epiny	7+2	-46,8	+7,3	- 0,6	Craie
(110)	28-1-004	Abscon	7+2	-46,6	-7,2	- 6,4	Craie
(111)	28-2-227	Walleres-Arenberg	9+2	-47,2	-7,1	-16,6	Craie
(112)	28-5-027	Thun-L'Évêque	11+2			- 2,5	Craie
(113)	28-5-057	Iwuy	10+2			- 1,2	Craie
(114)	28-5-068	Marcq-en-Ostrevant	4+2	-44,8	-7,2	-13,3	Craie
(115)	28-5-073	Hordain	11+2			- 3,8	Craie
(116)	28-5-076	Hordain	14+2			+ 1,1	Craie
(117)	28-5-123	Wasnes-au-Bac	6+2			- 6,4	Craie
(118)	28-6-120	Avesnes-le-Sec	19+3			- 3,9	Craie