

COMMUNAUTÉ ÉCONOMIQUE EUROPÉENNE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

**ACQUISITION ET RASSEMBLEMENT DES DONNÉES  
GÉOTHERMIQUES DISPONIBLES ET NOUVELLES  
DANS LA ZONE FRANCO-BELGE DE SAINT-GHISLAIN  
A SAINT-AMAND-LES-EAUX (Nord)**

Contrat 573-78-EGF

**Par**

**D. Bernard , B. Bosch , P. Caulier**

Service géologique régional  
NORD-PAS-DE-CALAIS

Département minéralogie,  
géochimie, analyses

Département géothermie

**80 SGN 406 NPC/MGA/GTH**

ACQUISITION ET RASSEMBLEMENT DES DONNEES  
GEOOTHERMIQUES DISPONIBLES ET NOUVELLES  
DANS LA ZONE FRANCO-BELGE DE SAINT-GHISLAIN  
A SAINT-AMAND-LES-EAUX (Nord)

Contrat 573-78 EGF

RESUME

La présente étude confiée au Bureau de Recherches Géologiques et Minières par la Commission des Communautés Européennes pour la zone française\* avait pour but :

1°) - de rassembler l'ensemble des données existant sur les différentes manifestations d'eau à température anormales rencontrées dans la région de St-Amand (France) et sur le réservoir aquifère potentiel des Calcaires carbonifères, recoupé par le sondage belge de St-Ghislain, à plus de 2000 m de profondeur.

2°) - de compléter ces données par des mesures et analyses diverses afin d'essayer :  
  . d'expliquer la provenance de ces eaux,  
  . de les capter dans des conditions optimales pour une exploitation géothermale.

3°) - d'effectuer une étude économique de surface, la zone d'étude correspondant à une zone de forte densité de population.

Par suite du retard apporté à la signature du contrat (recherche du financement de la contrepartie française), seuls les phases 1 et 2 de l'étude ont pu être réalisées dans les délais impartis (6 mois).

Ces 2 phases ont été réalisées simultanément. La phase 2, comprenant une série d'analyses chimiques et isotopiques (voir annexe VI), a démontré :

  . la parenté entre les eaux du karst du Calcaire carbonifère de la région de Saint-Amand et celles captées à Saint-Ghislain et à Douvrain en Belgique, sous le bassin houiller,

  . la présence de venues d'eau du Calcaire carbonifère dans la nappe de la craie sur la bordure nord du bassin houiller de Lecelles à l'Est à Marchiennes vers l'Ouest (et peut-être au-delà), probablement à la faveur de zones faillées permettant aux eaux du karst du Calcaire carbonifère sous pression de remonter jusqu'à la craie sénéon-turonienne à travers plusieurs horizons marneux réputés imperméables (Turonien inférieur et moyen).

---

\* En zone belge, l'étude a été effectuée par le Service géologique de Belgique.

Le rassemblement et l'interprétation des données géologiques et hydrogéologiques existant en archives au Service Géologique Régional Nord Pas-de-Calais (phase 1) a confirmé l'existence d'un ou plusieurs niveaux karstifiés dans le Calcaire carbonifère. Ceux-ci viendraient affleurer sous le recouvrement crétacé imperméable au niveau des forages "source du Clos" indice national et "St-Blaise" indice national (débits de 400 à 1000 m<sup>3</sup>/h artésien), mais les remontées d'eaux plus chaudes (car plus profondes et en circulation naturelle) se produiraient un peu plus au sud à la faveur d'accidents à la bordure du bassin houiller.

Le Calcaire carbonifère sous le bassin houiller n'a été atteint qu'en quelques points sur la bordure nord du bassin, la plupart des sondages pour recherche de houille effectués par les houillères nationales du bassin du Nord Pas-de-Calais s'arrêtant dans le Namurien; toutefois les coupes dressées par leur Service Géologique à partir de données de sondages et d'exploitation minière nous ont permis de préciser le toit du réservoir aquifère potentiel du Calcaire carbonifère, jusqu'à - 1500 m sous le flanc nord du bassin houiller.

La présence du karst est attestée jusqué dans cette zone, du moins au sud de St-Amand et dans la région de Vieux-Condé, par les puits naturels.

La limite sud de cette zone paraît la plus favorable pour l'implantation d'un forage géothermique dont la profondeur avoisinerait 2000 à 2500 m pour une température de l'eau de 60 à 80°C.

Toutefois la formation des puits naturels (dus à une dissolution importante de la matrice calcaire au niveau du karst) pourrait être favorisée par des réseaux de fractures subverticales liées à des accidents et permettant aux eaux d'un karst profond (sous le centre et le flanc sud du bassin houiller) de remonter pour s'écouler en bordure du flanc nord (voir figure 35). Dans cette hypothèse, il existerait au sud de la limite des puits naturels un karst dont la présence en France reste à prouver par la réalisation de sondages de reconnaissance.

# I

## S O M M A I R E

### Pages

1 - INTRODUCTION .....	1
2 - GEOLOGIE .....	3
21 - Stratigraphie régionale .....	3
211 - Quaternaire .....	3
212 - Tertiaire .....	4
213 - Secondaire .....	5
214 - Primaire .....	10
2141 - Carbonifère .....	10
2142 - Dévonien : .....	28
22 - Localisation géographique et paléogéographique du	
Calcaire carbonifère .....	28
221 - Généralités .....	28
222 - Localisation géographique et paléogéographique du	
Dinantien - Répartition des faciès .....	29
23 - Tectonique subie par le Calcaire carbonifère .....	31
231 - Phase sudète de l'orogénèse hercynienne : surrection	
de l'Europe moyenne .....	31
232 - Régression marine générale .....	32
233 - Phase asturienne de l'orogénèse hercynienne : dépôts	
houillers - formation du bassin carbonifère	
franco-belge .....	32
234 - Phase saalienne de l'orogénèse hercynienne : début	
d'une période aride .....	32
235 - Situation paléogéographique au Secondaire : sédimenta-	
tion crétacée .....	33
236 - Situation paléogéographique au Tertiaire .....	34
24 - Structure actuelle .....	34
241 - Cadre général .....	34
242 - Structure de la partie orientale française du	
bassin de Namur .....	35
243 - Cartes d'isohypses .....	37
2431 - Carte d'isohypses du toit du Primaire sous	
recouvrement .....	37
2432 - Carte d'isohypses du toit du Calcaire	
carbonifère .....	39

3 - HYDROGEOLOGIE .....	40
31 - Venues d'eau à température anormalement chaude .....	40
311 - Rappel sur le gradient géothermique normal.....	40
312 - Venues d'eau dans la craie .....	40
313 - Venues d'eau dans le Namurien .....	43
314 - Venues d'eau dans le Calcaire carbonifère .....	49
315 - Géothermomètres chimiques .....	52
32 - Les puits naturels et le karst calcaire carbonifère..	56
33 - Essais de pompage - Transmissivité des terrains primaires .....	65
4 - HYDROCHIMIE .....	65
41 - Généralités .....	65
42 - Nappe du Calcaire carbonifère .....	67
421 - Examen des analyses anciennes .....	67
422 - Campagne de prélèvements d'octobre 1979 .....	69
4221 - Eléments majeurs de la balance ionique..	69
4222 - Eléments traces .....	74
4223 - Analyse des gaz dissous .....	74
4224 - Dosage des formes soufrées .....	75
43 - Nappe de la craie .....	75
431 - Analyses anciennes .....	75
432 - Analyses effectuées en 1979 .....	78
4321 - Eléments majeurs de la balance ionique..	78
4322 - Eléments traces .....	82
4323 - Températures .....	89
4324 - Analyse des gaz dissous.....	89
44 - Hydrochimie isotopique .....	92
441 - Les isotopes stables .....	92
4411 - Oxygène 18 et Deuterium .....	93
4412 - Carbone 13 .....	93
4413 - Le soufre des sulfates .....	98
442 - Les isotopes radioactifs .....	104
4421 - Tritium .....	105
4422 - Carbone 14 .....	109
5 - CONCLUSIONS .....	124

### III

#### LISTE DES FIGURES

		Pages
Figure 1	Plan de situation au 1/500 000 de la zone d'étude .....	2
Figure 2	Les divisions stratigraphiques du houiller du Nord de la France d'après A.Bourroz .....	11
Figure 3	Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais - Extension des niveaux à goniatites d'après J.Chalart....	13
Figure 4	Variation de la puissance du Tournaisien entre Tournai et Soignies (Belgique) d'après H.Youssof.....	26
Figure 5	Répartition schématique des faciès du Calcaire Carbonifère d'après G.Delepine et A.Carpentier.....	31
Figure 6	Coupe géologique synthétique d'après la coupe structurale d'ensemble figurant sur la carte des zones stratigraphiques à la cote - 300 établie par les H.B.N.P.C. édition de 1963 .....	36
Figure 7	Coupe géologique Nord-Sud à travers le bassin houiller au niveau de Vieux-Condé, reproduite d'après la coupe 5 figurant sur la carte des zones stratigraphiques à la cote - 300 établie par les HBNPC (édition de 1963)...	38
Figure 8	Courbe définissant les domaines des eaux chaudes et eaux froides en fonction du gradient géothermique normal .....	41
Figure 9	Plan de l'établissement thermal de Saint-Amand-les-Eaux avec implantation des forages .....	42
Figure 10	Coupes stratigraphiques comparées des sondages 190, 191 et 42 de Blaton (d'après J.Chalard) .....	45
Figure 11	Fosse Ledoux - coupes stratigraphiques comparées des sondages au mur de Saint-Georges - Echelle 1/500 (d'après J.Chalard) .....	46
Figure 12	Coupe géologique Nord-Sud à travers le bassin houiller au niveau de Lallaing, reproduite d'après la coupe 4 figurant sur la carte des zones stratigraphiques à la cote -300 établie par les HBNPC (édition de 1963) .....	50
Figure 13	Schéma du karst du Calcaire carbonifère et des venues d'eau chaude .....	52
Figure 14	Solubilité des diverses variétés de silice en fonction de la température .....	54
Figure 15	Les eaux du Calcaire carbonifère dans le Nord de la France - Localisation des puits naturels (d'après G.Waterlot, A.Vandenberghe, modifié).....	57

Figure 16	Variations de la solubilité du gaz carbonique dans l'eau pure, en fonction de la température pour différentes pressions .....	59
Figure 17	Réseau karstique du Calcaire carbonifère du Nord de la France anté et post-Cénomanién, d'après A.Vanderberghe .....	62
Figure 18	Carte d'implantation des points de prélèvement.....	66
Figure 19	Carte des teneurs en sulfates des nappes du Calcaire carbonifère et de la craie .....	81
Figure 20	Carte des teneurs en chlorures du Calcaire Carbonifère et de la craie .....	83
Figure 21	Carte du rapport $\frac{\text{Sodium}}{\text{Potassium}}$ des nappes du Calcaire carbonifère et de la craie .....	84
Figure 22	Carte du rapport $\frac{\text{Calcium}}{\text{Sodium}}$ des nappes du Calcaire carbonifère et de la craie .....	85
Figure 23	Carte des teneurs en Lithium .....	88
Figure 24	Carte des teneurs en fluor .....	90
Figure 25	Carte des températures .....	91
Figure 26	Teneurs en oxygène 18 et Deutérium des eaux de la région de St Amand par rapport à la droite de Craig .....	96
Figure 27	Origine du Carbone dans le système carbonique.....	97
Figure 28	Cycle géochimique du soufre dédimentaire (d'après H.Nielsen) .....	98
Figure 29	Delta du soufre 34 en fonction des origines.....	100
Figure 30	Relation teneur en $\text{SO}_4$ / $\delta^{34}\text{S}$ .....	102
Figure 31	Delta $^{34}\text{S}$ ( $\text{SO}_4$ ) de quelques sédiments tertiaires recouvrant la nappe de la craie .....	103
Figure 32	Relation teneur en Tritium/ $\delta^{34}\text{S}$ .....	107
Figure 33	- Schéma du processus d'introduction du $^{14}\text{C}$ dans les eaux souterraines.....	111
Figure 34	- Processus affectant la teneur en $^{14}\text{C}$ et la composition isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ des carbonates dissous dans l'eau...	111
Figure 35	- Schéma d'interprétation des faits géologiques, hydro-géologiques et hydrochimiques observés ou mesurés dans la région de St Ghislain - St-Amand-Les-Eaux.....	126

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I Comparaison entre le Namurien du Nord de la France et de Belgique d'après J.Chalard .....	16
Tableau II Stratigraphie du Dinantien .....	19
Tableau III Débits et pressions mesurés dans les sondages de la fosse Ledoux (d'après J.Chalard) .....	44
Tableau IV Détermination des températures de gisement des eaux de quelques forages par le géothermomètre Sodium-Lithium.....	53
Tableau V Température de gisement des eaux de St Amand, Douvrain, St Ghislain, d'après le géothermomètre à silice .....	54
Tableau VI Stabilité du CO <sub>2</sub> dans l'eau en fonction de la température et de la pression .....	58
Tableau VII Techniques analytiques utilisées .....	68
Tableau VIII Résultats des analyses anciennes d'eau du Calcaire carbonifère ou de la craie .....	70
Tableau IX Résultats de séries d'analyses anciennes sur les forages du jardin d'enfants et de la source des chomeurs .....	71
Tableau X Résultats des analyses physico-chimiques de type I de la campagne de prélèvements effectuée en 1979 sur les forages au Primaire .....	72
Tableau XI Résultats des analyses d'éléments traces de la campagne de prélèvement effectuée en 1979 sur les forages au Primaire .....	73
Tableau XII Résultats des analyses de gaz dissous pour les forages au Primaire .....	74
Tableau XIII Résultats des analyses chimiques effectuées de 1962 à 1975 sur le forage de l'orée de la forêt .....	76
Tableau XIV Résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les forages de l'établissement thermal en 1961 et 1962 .....	77
Tableaux XV <sub>1</sub> et 2 Résultats des analyses physico-chimiques de type I de la campagne de prélèvement effectuée en 1979 sur les forages à la craie .....	79 et 80
Tableaux XVI <sub>1</sub> et 2 Résultats des analyses d'éléments traces de la campagne de prélèvement effectuée en 1979 sur les forages à la craie.....	86 et 87
Tableau XVII Résultats des analyses de gaz dissous sur les forages à la craie .....	92
Tableau XVIII Caractéristiques des isotopes utilisés en hydrogéologie...	94
Tableau XIX Résultats des analyses isotopiques .....	95
Tableau XX Datations des sources thermales de St Amand-les-Eaux Tableau récapitulatif des âges exprimés en années.....	123

## VI

### LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE I - Le socle paléozoïque du Nord de la France  
(établi par les géologues des sociétés C.F.P. (M),  
C.O.P.E.S.E.P., R.A.P. et S.N.P.A.).
- ANNEXE II - Structure détaillée de la partie orientale du Bassin de Namur  
en France au 1/100.000
- ANNEXE III - Carte d'Isohypses du toit du primaire sous recouvrement
- ANNEXE IV - Carte d'Isohypses du toit du Calcaire carbonifère
- ANNEXE V - Localisation des venues d'eau artésiennes et limites du Bassin  
houiller sous le recouvrement et à la cote -300 m.
- ANNEXE VI - Carte piézométrique et des delta  $^{34}\text{S}$  (des sulfates de l'eau des  
forages au Calcaire carbonifère ou à la craie) de St-Amand à  
Carvin.

## VII

### COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE

#### ACQUISITION ET RASSEMBLEMENT DES DONNEES GEOOTHERMIQUES DISPONIBLES ET NOUVELLES DANS LA ZONE FRANCO-BELGE DE SAINT-GHISLAIN A SAINT AMAND LES EAUX (NORD)

#### BUT ET RESULTATS DES TRAVAUX ENTREPRIS

A l'occasion d'un forage profond réalisé en Belgique, à Saint-Ghislain, des venues d'eau chaude importantes ont été reconnues. La qualité chimique de ces eaux et leur mode de gisement nous ont amené à reconsidérer le champ hydrothermal de Saint-Amand-Les-Eaux sous un angle nouveau, en particulier en envisageant l'utilisation du potentiel d'énergie géothermique qu'il représente.

Le bassin minier Franco-belge dans la zone frontalière (Mons-Valenciennes-Saint-Amand-Les-Eaux) est caractérisé par l'existence d'un certain nombre de venues d'eau chaude :

. Des sources thermales sont connues depuis l'antiquité dans la région de Saint-Amand-Les-Eaux où elles ont amené le développement d'une station thermale. De plus, les travaux miniers ont occasionnellement rencontré des arrivées d'eau plus chaude que la température normale.

. En Belgique, à Baudour, au début du siècle, des galeries minières ont été abandonnées vers 350 m de profondeur, suite à l'arrivée d'importantes venues d'eau chaude (de l'ordre de  $130 \text{ m}^3/\text{h}$  à une température de  $37^\circ$  à  $53^\circ \text{ C}$ ).

. Récemment, un forage de reconnaissance entrepris par le Service géologique de Belgique a rencontré vers 2.600 m une nappe d'eau chaude (température d'environ  $75^\circ$ ), ce forage qui s'est révélé artésien a produit un débit de l'ordre de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  pendant les essais préliminaires.

Ces indices ne sont pas suffisants pour définir la géométrie et la structure du réservoir. Il y a donc lieu de porter son attention sur ce point afin de mieux cerner le système hydraulique du réservoir géothermal. C'est pourquoi le B.R.G.M. a été amené à proposer l'étude de ce réservoir, en collaboration avec le Service

## VIII

géologique de Belgique, à la Communauté Economique Européenne.

### 1 - BUT DE LA RECHERCHE

La recherche réalisée vise à préciser les caractéristiques et les possibilités d'exploitation d'un système géothermal localisé dans un horizon de calcaire carbonifère fracturé et perméable en grand.

Ce contrat a permis de rassembler et de synthétiser les données existant dans la zone franco-belge de Saint-Amand-Les-Eaux à Saint-Ghislain. L'analyse des différentes données géologiques et hydrogéologiques nous a conduit à définir un schéma hydrogéologique et structural de la région étudiée. Celui-ci a pu être confirmé par une première série d'analyses chimiques et isotopiques soulignant en particulier l'unicité du gisement géothermal.

Le temps limité, destiné à l'exécution de ce contrat, n'a pas permis l'exécution de l'étude économique de surface, laquelle s'avère nécessaire pour connaître les possibilités d'utilisation locale de l'énergie géothermique.

### 2 - CONTENU DE L'ETUDE

#### 21 - Esquisse géologique du secteur

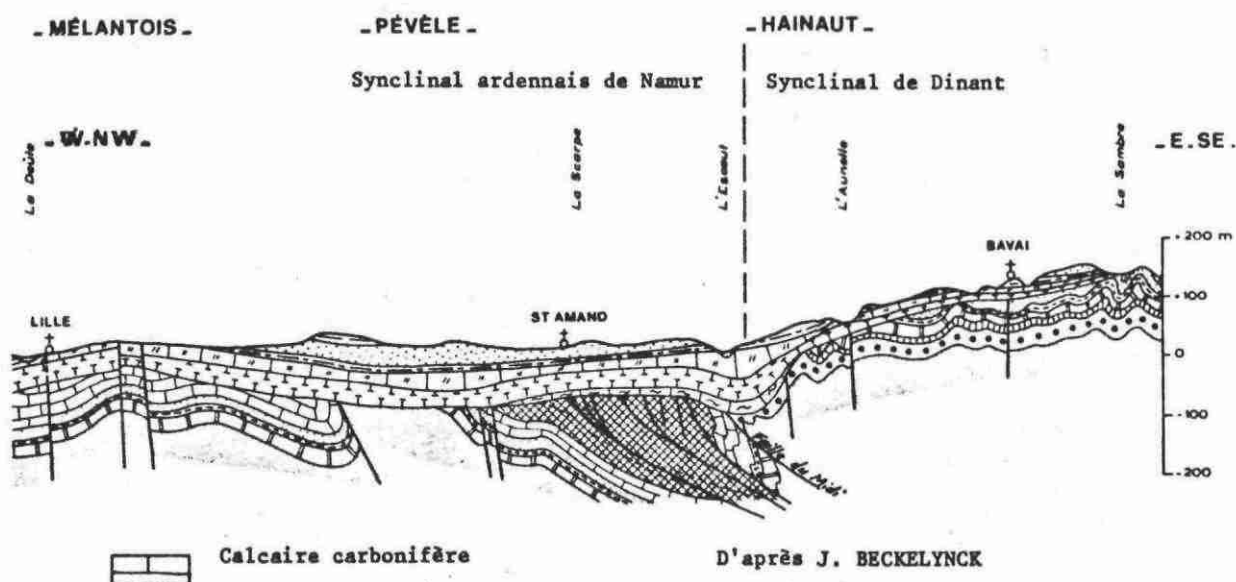
Nous intéressant plus particulièrement aux terrains du Paléozoïque, l'importance de leur couverture sédimentaire est un élément qui rend une étude locale délicate. C'est pourquoi les campagnes pétrolières, de même que les forages houillers et les forages d'eau constituent une source d'information capitale qui a permis d'établir une carte des terrains anté-mésozoïques (Annexe I).

La région étudiée qui s'étend sur le flanc nord de l'anticlinal faillé du Condroz a été marquée par les principaux cycles orogéniques (calédonien, hercynien et alpin). Cependant, pour chacun de ces cycles, le secteur concerné par cette étude n'a jamais correspondu à l'axe principal de l'orogénèse. De ce fait, l'empreinte laissée par ceux-là est modeste et inégale.

Le paroxysme orogénique (phase asturienne à la fin du Westphalien) est à l'origine des chevauchements qui ont engendré un déplacement des terrains anté-

## IX

westphalien (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 synclinal ardennais de Namur. Les déséquilibres provoqués par les glissements et charriages ont été corrigés par des détentes qui sont la cause des multiples failles directes d'effondrement (Cf. coupe ci-dessous).



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

Les terrains les plus anciens reconnus par sondage sont attribués au Silurien. La sédimentation y est alors schisto-gréseuse et de type flysch. 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 Faménien qui est de nouveau schisteux.

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. En effet, dans le secteur étudié, les faciès sont exclusivement calcaires et dolomitiques. La karstification de ces terrains a été intense durant le Wealdien.

Les terrains secondaires reposent en stratification discordante sur les terrains primaires qui ont été plissés et disloqués par l'orogénèse hercynienne. 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 Tournaisien, les terrains crétacés ne sont connus en Belgique que par ses formations les plus jeunes.

La coupe précédemment présentée montre les relations possibles pouvant exister entre la nappe du Calcaire carbonifère et celle du Sémonien, sur la bordure nord du bassin houiller.

## 22 - Hydrochimie

Dans le cadre de cette étude, nous avons cherché à montrer l'unicité du gisement géothermal s'étendant sous le bassin houiller (fosse de la Haine).

En effet, les teneurs en sulfates des eaux des forages captant le Calcaire carbonifère dans la région de Saint-Amand-Les-Eaux et la composition isotopique du soufre des sulfates ( $\delta^{34}\text{S}$  compris entre + 12,9 et 15,4) confirment leur parenté avec les eaux chaudes (66° à 70°) du karst recoupé en Belgique par les sondages de Saint-Ghislain et de Douvrain ( $\delta^{34}\text{S} = + 15,4$ ).

Les analyses réalisées ont montré également des venues d'eau du Calcaire carbonifère vers la nappe de la craie. Il faut donc considérer la région de Saint-Amand comme constituant un exutoire de la nappe du Calcaire carbonifère.

Les indications thermométriques recoupent celles données par le géothermomètre Na/Li et par celui à quartz. Les calculs effectués montrent que la température du réservoir profond oscille entre 65 et 75°.

### 23 - Principales conclusions

Le rassemblement et l'interprétation des données géologiques et hydrogéologiques a confirmé l'existence d'un ou de plusieurs niveaux karstifiés dans le Calcaire carbonifère.

Le Calcaire carbonifère sous le bassin houiller n'a été atteint qu'en quelques points sur la bordure nord du bassin, la plupart des sondages pour recherche de houille effectués par les Houillères nationales du bassin du Nord Pas-de-Calais s'arrêtant dans le Namurien.

L'épaisseur des terrains namuriens sous-jacents à la dernière veine de houille exploitée étant à peu près constante, il a été possible de dresser une carte isohypse du toit du calcaire jusqu'à la cote - 1500 m N.G.F.

La présence du karst est attestée dans cette zone, du moins au sud de Saint-Amand-les-Eaux et dans la région de Vieux-Condé, par les puits naturels observés.

Sur la carte en annexe IV, ont été répertoriées trois zones d'intérêt géothermique différent :

- . la zone correspondant à un réservoir profond prévisible à plus de 1000m permettant la production d'un débit d'eau géothermique pour une utilisation "classique",

## XII

. au Sud de cette zone, un réservoir plus profond est susceptible d'exister, mais les risques géologiques y sont plus élevés,

. au Nord de la zone définie ci-dessus, des captages peu profonds sont susceptibles de produire des débits d'eau à une température moyenne nécessitant une utilisation adaptée (pompes à chaleur, systèmes de chauffage basse température ou bien utilisations spécifiques).

1

ACQUISITION ET RASSEMBLEMENT DES DONNEES  
GEOOTHERMIQUES DISPONIBLES ET NOUVELLES DANS LA  
ZONE FRANCO-BELGE DE SAINT-GHISLAIN A  
SAINT-AMAND-LES-EAUX (Nord)

---

1 - INTRODUCTION

Des venues d'eau chaude sont connues depuis l'antiquité dans la région de Saint-Amand où elles ont amené le développement d'une station thermale. Par ailleurs, les travaux ou sondages miniers ont occasionnellement rencontré des arrivées d'eau plus chaudes que la température normale.

En Belgique, à Baudour, au début du siècle, des galeries minières rencontrèrent des venues d'eau chaude (37° à 53°) très importantes, à 350 m de profondeur, qui amenèrent l'abandon du chantier et qui plus tard furent l'objet de projets d'utilisation comme eau thermale.

Enfin, récemment (1976), un forage de reconnaissance géologique entrepris par le Service géologique de Belgique à St-Ghislain, a rencontré vers 2.600 m, des eaux à température normalement élevée vu la profondeur de l'aquifère (A. DELMER - Service géologique de Belgique - prof. paper n° 143 - 1977).

Le but de la présente étude est de rassembler l'ensemble des données existant sur les différentes manifestations d'eaux anormalement chaudes et de les compléter par des mesures et analyses diverses, afin d'essayer d'en expliquer la provenance et de les capter dans les conditions les plus favorables.

La zone d'étude (cf. fig. 1) correspondant à une zone de forte densité de population, l'utilisation de l'énergie géothermique pour le chauffage d'habitation est envisageable.

Conformément au plan d'exécution proposé dans le programme de recherche, deux phases de l'étude ont été menées simultanément :

- 1 : rassemblement et synthèse des données existantes
- 2 : campagne de prélèvements et analyses physico-chimiques et isotopiques.

Le présent rapport est scindé en 3 parties :

• La géologie : une synthèse des données anciennes est effectuée, accompagnée de cartes.

• L'hydrogéologie : elle comporte la reprise de données anciennes (venues d'eau et caractéristiques de l'aquifère du Calcaire carbonifère, par essais de débit).

## LIMITE DE LA ZONE D'ETUDE EN FRANCE

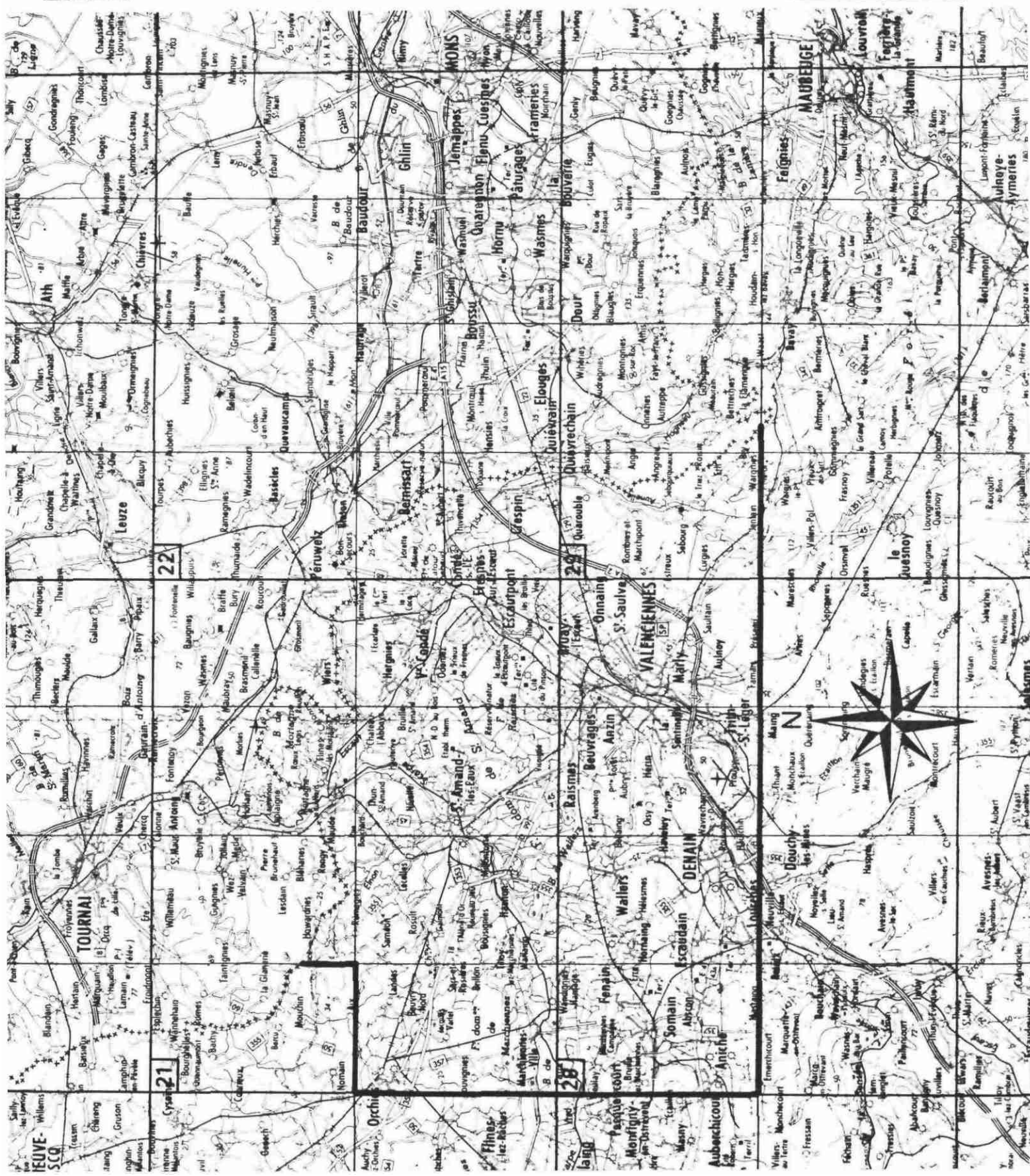
## LEGENDE

Numéro de carte au 1/50 000

Limite de la zone d'étude

Numéro des huitièmes

Echelle 1/250 000



• L'hydrochimie : qui condense quelques données anciennes disparates et fournit un ensemble de données nouvelles sur le chimisme des eaux de la région de Saint-Amand.

## 2 - GEOLOGIE

Nous décrivons dans un premier paragraphe la stratigraphie régionale qui permettra d'exploiter les données de sondage et de dresser la carte structurale du toit du Primaire. Les archives des Houillères du bassin du Nord et du Pas-de-Calais et les études de synthèse sur le bassin houiller précisent la stratigraphie, la structure et la tectonique du bassin houiller. Les sondages pétroliers profonds et les récents sondages belges permettront de replacer les structures régionales dans un schéma d'ensemble.

### 21 - Stratigraphie régionale

Seront décrites ci-après toutes les formations susceptibles de reposer sur le Calcaire carbonifère du bassin de Namur ou d'en constituer le substratum afin de mieux cerner :

- sa paléogéographie,
- sa tectonique,
- l'évolution du karst,
- sa reconnaissance par sondages.

En ce qui concerne le quaternaire, le tertiaire et le secondaire, nous reprendrons ci-dessous essentiellement les descriptions de la notice de la feuille de Saint-Amand - Crespin - Mons publiée par le B.R.G.M.

#### 211 - Quaternaire

Dans la région de Saint-Amand, les terrains superficiels recouvrent pratiquement l'ensemble de la feuille et sont représentés sur la carte géologique au 1/50 000 de Saint-Amand sous les notations :

LP = limons des plateaux dont la lithologie est fonction de la nature du sous-sol. Dans les régions boisées, ils se limitent à des niveaux superficiels humifères.

RSIII = formation résiduelle à silex. Cette formation se rencontre sur la rive gauche de l'Escaut, de Bruay à Bruille-Saint-Amand. Elle occupe une vaste superficie et supporte la partie orientale de la forêt de Raismes. Ce sont des sables grossiers comportant des lits de silex brisés et usés et aussi des galets de silex d'origine marine provenant d'anciens cordons littoraux tertiaires. Cette formation était considérée, sur la feuille Douai à 1/80 000, comme une terrasse et notée en alluvions anciennes de l'Escaut. Cette attribution n'a pas été conservée ici en raison de l'incertitude qui subsiste quant à son origine exacte : l'altitude à laquelle on l'observe est variable et sa disposition sur un versant ne plaide pas en faveur d'une terrasse ; on serait plutôt tenté d'y voir le résidu local d'une vaste couverture d'origine continentale ayant subi un déplacement par solifluxion et glissement sur les pentes,

Fz = alluvions modernes. On doit distinguer deux types de dépôts alluvionnaires : ceux de la Scarpe qui passent à Saint-Amand et ceux de la vallée de l'Escaut entre Bruay et Vieux-Condé.

Les alluvions de la Scarpe reposent sur un substratum constitué de sables tertiaires ; elles sont formées de matériaux fins, sablo-argileux où s'intercalent des niveaux de tourbe. La limite des alluvions est le plus souvent floue, les faciès ressemblant à ceux des sables landéniens environnants. Ces derniers sont, par ailleurs, fréquemment altérés en surface, et contiennent alors des débris végétaux en quantité non négligeable pouvant se confondre avec les lits tourbeux des alluvions. La pente extrêmement faible des cours d'eau du bassin de la Scarpe rend très délicate la délimitation des bassins alluvionnaires superficiels : vers Vicoigne, par exemple, il est difficile de séparer le bassin de la Scarpe de celui de l'Escaut.

Les alluvions de la vallée de l'Escaut sont plus grossières ; les niveaux de graviers sont fréquents vers Fresnes où ils sont associés à des sables et à de la tourbe. Des lits d'argile plastique grisâtre ou blanchâtre, épais de 50 cm en moyenne déterminent souvent, à l'intérieur de la masse alluvionnaire, de petits niveaux aquifères superficiels localement indépendants de la nappe principale sous-jacente. En aval de Condé, vers la frontière belge, ces alluvions deviennent plus fines ; elles sont rares. Il en est de même dans la partie est, vers Saint-Aybert, où les alluvions reposent sur les sables et tuffeaux landéniens. En raison de la faible pente des rivières, ces alluvions occupent de vastes superficies.

## 212 - Tertiaire

Cette ère géologique est représentée ici par l'EOCENE. On distingue les formations suivantes :

### e3 = Yprésien inférieur = Sparnacien : Argile d'Orchies (10 à 15 mètres)

qui n'apparaît qu'en bordure ouest de la feuille. C'est une argile plastique noire ou bleuâtre, parfois feuilletée dans sa partie inférieure où on note la présence d'un niveau remanié à nodules gréseux et débris végétaux pyritisés. En surface, elle peut être jaunâtre ou bigarrée par altération. Vers le sommet, quelques lits sableux apparaissent et on y observe des niveaux indurés ("durots") et des nodules calcaires. La pyrite est abondante ; sa décomposition donne naissance à des cristaux de gypse irrégulièrement répartis et de formes diverses. L'extrême base est souvent marquée par un niveau de sable limoniteux fauve ou marron à stratification entrecroisée (équivalent probable des "Oldhaben beds" du bassin de Londres),

e2b = Sables d'Ostricourt : représentés par l'assise inférieure marine dite des "Sables de Grandglise". Ce sont des sables verts glauconieux prenant le plus souvent une teinte jaune à l'affleurement et parfois même en profondeur. Ces sables peuvent se décolorer et devenir blancs par disparition de la glauconie, ils sont alors de même faciès que ceux de l'assise supérieure. Ils deviennent de plus en plus glauconieux vers la base (glauconie verte à noire) et s'enrichissent en nodules pyriteux. Le sable est souvent à grains fins bien calibrés avec

quelques paillettes de mica ; on y observe également quelques passées de grès très tendres. On peut y trouver (Saint-Aybert) de gros morceaux de bois lignifiés et perforés de trous remplis de sable aggloméré. L'assise a fourni des dents de Poissons (*Odontaspis winkleri*),

e2a = Tuffeau de Valenciennes, Argile de Louvil. Dans la partie ouest de la feuille, l'élément argileux prédomine et constitue une assise épaisse d'une dizaine de mètres : l'Argile de Louvil. C'est une argile plastique gris-noir ou parfois verdâtre avec, à la base, des silex noirs perforés à surface verdie. Des niveaux de sables fins, glauconieux, parfois consolidés en grès par un ciment d'opale sont surtout localisés vers la base. Ces grès tendres et poreux ("tuffeau" de Valenciennes) vont se développer de plus en plus vers l'Est au détriment de l'argile qui se réduit à des petits lits répartis irrégulièrement. L'épaisseur du tuffeau est variable (4 à 7 m) mais peut parfois être supérieure à celle atteinte par l'Argile de Louvil, le faciès envahissant vraisemblablement une partie des sables verts sus-jacents. Le Tuffeau de Valenciennes va ainsi devenir prépondérant à partir de la région occupée par la forêt de Raismes. A ces grès tendres parfois calcareux ("ciel de marne" des foreurs) vont s'ajouter des niveaux indurés de teinte bleuâtre ("Pierre bleue").

#### 213 - Secondaire :

Dans le secteur français de l'étude la série crétacée est très peu représentée et n'affleure que rarement : au Nord de Bourghelles à l'approche du dôme du Mélantais, sur la rive droite de l'Escaut en aval de Condé, et enfin vers Crespin. La connaissance de cette série est due aux travaux de creusement des puits de mine et également aux nombreux forages de recherche de houille.

Le Crétacé supérieur est caractérisé par l'apparition vers la frontière belge d'un terme nouveau : le Campanien connu seulement en profondeur à Saint-Aybert. Le Turonien supérieur présente les faciès particuliers existant en Belgique dans le bassin de Mons. Les termes de la moitié inférieure de la série sont représentés sous un faciès marneux (Turonien inférieur et Albien). Les successions lithologiques observées dans les puits de mine sont dues à R. DEMEE, les successions stratigraphiques ont été établies par R. MARLIERE.

On distingue les étages suivants :

C4.6 = Sénonien subdivisé d'après les coupes de sondages en :

1°) - Campanien supérieur : Craie d'Obourg (Assise à *Belemnites mucronata*). Assise traversée sur une vingtaine de mètres, sous le Landénien à Saint-Aybert. C'est un ensemble de craie blanche pure, traçante, pulvérulente, plus dure dans sa moitié inférieure avec à la base quelques nodules phosphatés. A l'extrême base existe, sur un mètre environ, un niveau conglomératique constitué d'un ciment fait d'une craie dure et grenue devenant de plus en plus sableuse vers le bas et contenant de minuscules galets de quartz, lentilles argileuses, petits amas de glauconie et pyrite.

2°) - Campanien moyen et inférieur : Craie de Trivières (Assise à *Actinocamax quadratus* et *Belemnitella mucronata* et Assise à *Act. quadratus*, *Avicula tenuicostata*...). Ensemble de craie blanche de 70 m d'épaisseur. La craie est très pure, très dure, à cassure conchoïdale à Saint-Aybert, elle est plus marneuse en Belgique. Elle contient quelques rognons de pyrite et quelques nodules phosphatés apparaissant vers la base.

La base de l'assise (4 m) comporte des bancs de craie grenue, sableuse à grains de quartz arrondis, à rognons de pyrite et de craie blanche dure, sableuse à petits nodules phosphatés, débris de coquilles et gros grains de glauconie disséminés dans la masse. Un banc de 70 m termine l'assise : c'est un conglomérat résistant fait de morceaux de craie blanche de toutes tailles et de formes irrégulières solidement soudés par un ciment grisâtre, sableux, graveleux, glauconieux et très dur.

Les rognons de phosphate et de pyrite à surface verdie dépassant souvent la grosseur du poing sont nombreux.

3°) - Santonien et Coniacien : (Assise à *Micraster coranguinum* et *M. cortestudinarium*). Cette assise constitue la craie blanche classique de la région ; sur la feuille, on n'y signale pas de silex. La roche est très blanche, très pure et disposée en gros bancs. Elle affleure vers Crespin.

Faune : *Inoceramus involutus*, *I. mantelli* (ces deux fossiles, parfois très abondants donnent à la craie un aspect particulier : "craie à soies"), *Spondylus spinosus*, *Terebella Iewesiensis*.

A la base, la craie peut devenir, comme à Saint-Aybert, plus marneuse, de teinte grisâtre avec quelques nodules phosphatés et quelques grains de quartz (*Terebratulina striata*, *Micraster cortestudinarium*).

R. DEHEE souligne qu'à Saint-Aybert on ne remarque aucun ravinement du toit du Turonien sous-jacent : la craie devient grenue, se charge en grains de quartz, contient de nombreux nodules phosphatés et, tout à fait à la base, des galets de quartz et du bois lignitifé. A Vicoigne, on note également à la base de l'assise la présence d'une craie glauconieuse très dure (1 m d'épaisseur) à grains de sable, galets de silex et rognons phosphatés (*Oxyrhina mantelli*, *Ventriculites alcyonoides*, débris de grands Inocérames).

Le passage Turonien-Sénonien est donc le plus souvent progressif et marqué par l'apparition dans la craie, de glauconie, de rognons phosphatés et parfois de galets. Ces bancs sont quelquefois bien individualisés, surtout dans la partie ouest de la feuille où ils sont dénommés "Meule<sup>+</sup>" et "Tun". Le banc situé le plus haut dans la série représenterait le sommet du Turonien supérieur. Cependant, ce repère lithologique ne semble pas avoir une valeur chronostratigraphique rigoureuse, sa position étant souvent fluctuante.

---

+

Ne pas confondre avec les faciès grossiers de l'Albien et du Cénomaniens que les mineurs ont également désignés sous l'appellation "Meule", synonyme alors de "grès vert".

L'assise est, en de nombreux points, tronquée dans sa partie supérieure par l'érosion ou par la transgression éocène ; son épaisseur est donc variable. A Saint-Aybert, où elle représente la "Craie de Saint-Vaast" du bassin de Mons, on en compte une quarantaine de mètres.

C3c = Turonien supérieur (Assise à *Micraster leskei* = *M. breviporus*).

L'assise, au sommet de laquelle on place souvent les bancs phosphatés (tun) ou siliceux (meule), décrits ci-dessus, correspond, semble-t-il, à la craie grise à silex ou "gris". Elle n'affleure qu'au Nord de Bourghelles. On note une évolution dans les successions lithologiques : au Sud-Ouest, l'assise présente des faciès intermédiaires entre ceux observés hors des limites de la feuille, vers le Nord-Ouest d'une part (feuille de Carvin) où les silex sont rares et vers le Sud-Ouest d'autre part (feuille de Douai) où l'ensemble de la série contient de nombreux silex. Puis, vers l'Est, se distinguent progressivement deux ensembles dans cette craie glauconieuse ; une partie supérieure dépourvue de silex et une partie inférieure à nombreux silex cornus (cette disposition est celle rencontrée plus au Sud, dans la moitié ouest de la feuille de Valenciennes). Cependant, les faciès continuent d'évoluer rapidement vers l'Est pour présenter, à partir de Saint-Amand, les successions rencontrées en Belgique et caractéristiques du bassin de Mons. A Saint-Aybert et à Vicoigne on observe la succession suivante de haut en bas :

a) - Craie de Maisières = "Bonne pierre" de Valenciennes. Craie très glauconieuse gris-foncé ou verdâtre, sableuse, dure ou pulvérulente à grains de glauconie parfois groupés en petits amas (puissance : 4 m). Le sommet, au moins, de cette formation pourrait déjà représenter le Coniacien inférieur.

b) - "Cornus" ou "Rabots de Saint-Denis". Craie grise, tendre, grenue avec gros silex cornus parfois enrobés dans une craie grise pulvérulente et disposée en lits séparés par de minces couches de craie marneuse schistoïde. A Saint-Aybert, la roche devient très dure et renferme de véritables bancs de silex de 0,45 m d'épaisseur (puissance 8 à 12 m).

c) - "Fortes toises" (8 m environ). Craie marneuse blanc-grisâtre lourde, avec concrétions siliceuses cornues ; parfois cette craie devient très dure à tigelles pyriteuses.

Au Nord de Bourghelles, l'assise est réduite (5 à 6 m) ; elle comporte plusieurs bancs de "tun" dans la partie supérieure et des silex vers la base.

C3b = Turonien moyen . Assise à *Terebratulina graciilis*. Ensemble de 20 à 30 m d'épaisseur constitué d'une alternance de marnes verdâtres ou bleuâtres à tigelles pyriteuses (diâves bleues), parfois avec de gros amas de glauconie et de craie marneuse gris-verdâtre ("durs-bancs"). On note un affleurement vers Bourghelles.

Faune : *Terebratulina gracilis*, *Inoceramus brongniarti*, *Oxyrhina mantelli*, *Ostrea canaliculata*, *Spondylus spinosus*, *Terebratula semiglobosa*, *Terebella* sp., *Pecten Cretosus*, *Ostrea vesicularis*, *Flabellina elliptica*. Ce faciès est constant dans la partie française de la feuille sauf aux environs de la vallée de l'Escaut entre Condé et Maulde, où la réduction sensible de l'épaisseur des assises marneuses de la partie inférieure du Crétacé supérieur pose des problèmes d'ordre stratigraphique qui seront évoqués plus loin.

On note à Saint Aybert et à Vicoigne la présence d'un niveau de base de 0,5 m à 1 m d'épaisseur formé d'une craie marneuse grise très lourde indurée et parfois sableuse, glauconieuse à nodules phosphatés et galets de phtanite (Huîtres, fragments de coquilles, écailles de Poissons, os, dents). Ce faciès atteste la présence de mouvements non négligeables qui se seraient produits entre le Turonien inférieur et le Turonien moyen. On ne retrouve plus trace de ces phénomènes au-delà de Vicoigne vers l'Ouest.

C3a = Turonien inférieur. Assise à *Inoceramus labiatus*. Ce sont les "dièves vertes" des mineurs ; elles sont formées d'un ensemble généralement homogène de marnes vertes, fines, plastiques et parfois pyriteuses ou sableuses. Vers Saint Aybert, ces marnes vertes admettent des intercalations de craie marneuse grise ou verdâtre, pyriteuse, grenue, sableuse et très dure (épaisseur 30 m).

Faune : *Terebratulina striata*, *Inoceramus labiatus*, *Spondylus spinosus*, S. cf. *gibbosus*, *Rhynchonella cuvieri*.

C2b = Cénomaniens supérieur. Assise à *Holaster subglobosus* (Assise de Saint-Aybert). Marnes vertes, vert olive, grises ou jaunes ("dièves jaunes", dièves multicolores") parfois sableuses et pyriteuses vers le bas. A la base, on observe un enrichissement en petits lits sableux et glauconieux avec quelques minuscules galets de phtanite.

La base de l'assise est représentée par un banc graveleux et des poudingues ("Tourtia").

A Saint-Aybert, on observe sur 4 m, une marne très résistante, gris-verdâtre, sableuse, à très nombreux grains de glauconie, minuscules galets de phtanite et de petits nodules phosphatés. Tout à fait à la base, se développe, sur quelques décimètres, une marne sableuse, glauconieuse, à petits lits de graviers constitués de phtanites usés, de quartz hyalins et morceaux de houille.

Remarque : Au Nord de la vallée de l'Escaut, le terme marneux du Crétacé supérieur montre une réduction d'épaisseur. A Sains-Amand, sous les "fortes toises" du Turonien supérieur, on relève une dizaine de mètres seulement d'une marne plastique verdâtre reposant sur le tourtia. Vers l'Est (Château l'Abbaye, Flines) les épaisseurs sont également réduites, mais, bien que les coupes de forages fassent état de la présence de Turonien supérieur sous la couverture tertiaire ou quaternaire, on ne dispose plus de descriptions lithologiques précises permettant de bien connaître les faciès de ce Turonien supérieur et l'on peut se demander si ce dernier terme est effectivement représenté partout sous la couverture, d'autant plus que les silex et la glauconie qu'il contient

en abondance peuvent se retrouver remaniés à la base des assises plus récentes et amener dans les forages des confusions avec la série en place. Il faut donc envisager, lorsque la présence du Turonien supérieur n'est pas établie avec certitude, la possibilité d'une érosion des termes supérieurs des "dièves".

Entre les "dièves" et le socle primaire s'intercalent parfois des faciès d'âge variable, attestant de transgressions, de régressions et d'érosions qui se sont reproduites depuis l'Albien moyen jusqu'au Cénomaniens inférieur, mais dont l'analyse stratigraphique, en l'absence de faunes, est difficile en raison même du polymorphisme des faciès souvent littoraux.

C2a = Cénomaniens inférieur. Assise à *Schloenbachia varians* (Ass. de Bernissart). A Saint-Aybert, alternance de couches de marnes grise ou verte, sableuse, glauconieuse, à concrétions siliceuses et de bancs calcaires parfois légèrement glauconieux à nombreuses diaclases, avec calcite, cherts, graviers, galets de phtanite et de quartz (13 m).

Faune : *Exogyra conica*, *Inoceramus crippsi*, *Pecten orbicularis*, *Pecten quinquecostatus*, *P. aequicostatus*, et surtout une grande Cyprine à l'état de moulage (cf. *Cyprina quadrata*).

A la base : poudingue à ciment marneux gris ou vert, à nombreux galets de phtanite dont l'extrême base constituée d'un sable vert grossier à nodules phosphatés repose sur le terrain houiller. A Vicoigne, l'assise de Bernissart est représentée par 3 m de craie marneuse durcie et de marnes très glauconieuses à nombreux galets de quartzite, de phtanite et de houille (*Pecten asper*, *P. orbicularis*, *Neithea quinquecostata*, *Ostrea vesicularis*).

C1 = Albien. Les formations albiennes sont connues en France à la terminaison occidentale du bassin de Mons (Thivencelles, fosse Lagrange). Elles sont essentiellement constituées de grès, de marnes parfois sableuses, de spongolithes verdâtres et glauconifères et de gaizes : c'est le faciès de la "Meule" albienne du Hainaut.

L'épaisseur est variable, la partie supérieure ayant pu être érodée, puis ravinée avant la transgression du Cénomaniens inférieur ; elle atteint 60 m à Thivencelles. La formation a livré à la fosse Lagrange *Trigonia dedalaea*. En Belgique, à Harchies, l'Albien moyen est représenté par l'Assise de Pommeroeul et l'Albien supérieur par les assises d'Harchies, de Catillon et de Bracquenies.

W = Wealdien. Représenté par des dépôts continentaux qui s'intercalent irrégulièrement entre le Primaire et le Crétacé supérieur ; ces dépôts sont généralement constitués de sables, de graviers et d'argiles noires. Au Sud de la feuille, certains forages de recherche de houille ont traversé le Wealdien sur des épaisseurs variant entre 1 et 8 m, exceptionnellement 25 mètres.

Ces "poches" peuvent cependant atteindre des épaisseurs plus considérables : à Mouchin, par exemple, un forage pétrolier 21-1-56 n'a pu atteindre le Primaire après avoir rencontré, sous le Crétacé supérieur, 47 m de grès siliceux localement argileux et des argiles noires sableuses avec intercalations de salbes gris-verdâtre.

214 - Primaire

Il est représenté en affleurement dans la partie belge de la zone d'étude et en profondeur dans la partie française.

L'on distingue du plus récent au plus ancien les systèmes suivants : Carbonifère, Dévonien, Silurien, présents dans la zone d'étude. Seuls seront décrits le Carbonifère et l'étage supérieur du Dévonien.

2141 - Carbonifère : Subdivisé en 5 étages, le plus récent (Stéphanien) n'est pas présent dans la zone d'étude. Les 4 autres seront l'objet d'une description détaillée puisque :

- soit qu'ils constituent le terrain houiller productif (Westphalien) qui a été largement exploité et décrit par les Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais,

- ou sa base, contenant quelques petites veines de houille, traversé par des sondages de reconnaissance et quelques fosses (Namurien), des venues d'eau y ont été fréquemment constatées,

- soit que ce sont le ou les horizons aquifères reconnus par le sondage de Saint-Ghislain et à l'origine des venues d'eau anormalement chaudes connues à Saint-Amand (Viséen et Tournaisien regroupés sous le nom de Dinantien).

h4 = Westphalien. La description de cet étage est extraite de la publication de A. BOUROZ : "Le Carbonifère du Nord de la France".

Presque à la base du Westphalien, débute le houiller véritablement productif caractérisé par une sédimentation purement continentale ayant permis la formation de très nombreuses veines et veinules de charbon. Quelques invasions marines se sont produites après le niveau marin de la Passée de Laure : Poissonnière, Wingles, Rimbert ; leur rareté en a fait des niveaux commodes pour la subdivision du Westphalien mais sans qu'ils jalonnent nécessairement les changements caractérisés qui se produisent dans la faune ou la flore continentales de cet étage.

Les composants lithologiques du Westphalien représentant à peu près 30 % de grès, 60 % de schiste et 10 % de charbon. Les grès se présentent en bancs d'épaisseur variable mais généralement faible (quelques mètres), ils sont rarement feldspathiques, parfois micacés et ne sont réellement quartzitiques que vers la base du Westphalien A. Les schistes, généralement foncés, ne sont tendres qu'au voisinage immédiat des veines ou en intercalaires au milieu d'elles ; ils se chargent très rapidement de silice, d'abord cryptocristalline, puis sous forme de quartz nettement détritiques au fur et à mesure qu'on s'éloigne du toit. En règle générale, au toit immédiat d'une couche de houille, le granulo-classement de la première séquence sédimentaire est négatif, puis à partir de l'apparition du premier banc de grès, les séquences suivantes ont un granulo-

classement positif jusqu'au dépôt de charbon suivant. D'une façon générale, les schistes les plus fins sont composés presque uniquement d'illite, la kaolinite n'apparaissant qu'avec les quartz et semblant provenir de l'altération des feldspaths qui accompagnaient les quartz dans le matériel détritique. On trouve dans le bassin une trentaine de niveaux de tonsteins (kaolinite pratiquement pure) très inégalement répartie dans la série stratigraphique, la plupart du temps dans le charbon mais qu'ils peuvent quitter au toit ou au mur, montrant ainsi qu'ils ne surimposent à la séquence sédimentaire normale mais sans en être partie intégrante.

Ils apparaissent souvent avant le dépôt de séries gréseuses particulièrement grossières, correspondant à un rajeunissement du relief érodé. La grande extension géographique des tonsteins a permis de les utiliser comme niveaux repères pour les corrélations à distance et notamment comme limite de quelques faisceaux.

Le charbon constituant les veines de houille présente des caractères très variés. Les indices des teneurs en matières volatiles décroissent plus ou moins régulièrement sur une même verticale (loi de Hilt), mais ils peuvent varier considérablement pour des couches de même âge sur toute l'étendue du bassin, passant de 13 % par exemple pour le niveau de Poissonnière au Nord-Est (Valenciennes) à plus de 30 % à l'extrémité ouest du bassin (Bruay). L'indice le plus bas est de 7 % pour les veines du Westphalien A, à 1000 m de profondeur dans le centre du bassin, le plus élevé atteint 45 % pour les veines de la partie supérieure du Westphalien C à l'extrémité ouest du bassin du Pas-de-Calais.

Le Westphalien est divisé en 3 sous-étages A, B, C, eux-mêmes divisés en assise puis en faisceaux (cf. figure 2).

Faisceaux					
Westphalien Epaisseur : 690 - 1300 m	C	Assise de Bruay	Edouard	130 - 260 m	
			Dusouch	200 - 250 m	Tonstein Ulric
			Ernestine	220 - 360 m	Tonstein Talence
			Six Sillons	220 - 620 m	Tonstein Patrice
Westphalien Epaisseur : 250 - 880 m	B	Assise d'Anzin	Pouilleuse	100 - 350 m	Rimbert (Aegir)
			Meunière	130 - 370 m	Wingles (Domina)
				90 - 240 m	Poissonnière (Katharina)
Westphalien Epaisseur : 135 - 540 m	A	Assise de Vicoigne	Chandeleur	30 - 180 m	Tonstein Graziella
			Modeste	15 - 90 m	Passée de Laure (Wasserfall)
		Assise de	Olympe	45 - 340 m	
Namurien Epaisseur : 65 - 700 m		Flines	Marie	12 - 220 m	
		Assise de Bruille	St-Georges	8 - 140 m	
			Stérile		
* Dinantien                      Calcaire carbonifère                      Horizon à G. Spirale					

Figure 2 : Les divisions stratigraphiques du Houiller du Nord de la France d'après A. BOURAZ.

h3 = Namurien. Il a été décrit en détail par J. CHALARD dans sa thèse "Contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Nord de la France".

Nous reproduisons ci-après le 1er chapitre de la cinquième partie (succession stratigraphique) de son ouvrage "stratigraphie du Namurien du Bassin houiller du Nord de la France".

Nous avons observé, en résumé, dans le Bassin houiller du Nord de la France la succession suivante de haut en bas (Fig. 3) :

1°) - Niveau marin de la Passée de Laure

Toit généralement à *Lingula mytilloides* et à *Planolites ophthalmoides* sans fossiles spéciaux à ce niveau marin. Sa principale caractéristique est d'être le premier niveau marin que l'on trouve en descendant, sous le niveau de Poissonnière, ou, si l'on veut, le plus élevé des niveaux marins inférieurs. Il est accompagné dans les terrains environnants, d'une flore à *Imparipteris schlehani* et *Diploptemema hoeninghausi*. En outre il est suivi de proche en proche dans tout le Bassin houiller d'autant plus facilement qu'il se trouve exactement à la limite inférieure du faisceau exploitable et que l'on a très souvent l'occasion de le reconnaître et de l'utiliser. Il paraît correspondre au niveau de Gros-Pierre et Stenaye en Belgique, au niveau de Wasserfall en Westphalie. Il est situé dans la partie inférieure du Westphalien.

2°) - Série à faune marine pauvre

C'est la zone I de M. A BOURROS (1954) : zone schisto gréseuse avec sols de végétation sans veines de houille importantes. Elle est limitée à la base par le "Banc à *Productus corrugatus*" qui n'est connu que dans la région de Valenciennes et de Douai. Elle mesure 200 m d'épaisseur environ dans la région de Valenciennes mais s'amincit beaucoup dans le Pas-de-Calais jusqu'à ne plus mesurer qu'une vingtaine de mètres d'épaisseur au 1er sondage de Mazingarbe.

Cette zone montre, au toit des murs ou des passées de charbon, des bancs marins contenant essentiellement *Lingula mytilloides* et *Planolites ophthalmoides*. On y a observé, exceptionnellement, sur certaines coupes, quelques bancs calcaires ou calcareux avec encrines. On peut y trouver, rarement, de minces conglomérats.

Les goniatites y sont très rares : en un point seulement (fosse de Sessevalle) on a trouvé *Reticuloceras metabilingue* ; la partie inférieure de la série doit donc être rapportée à la zone R<sub>2</sub>. Il est possible que la partie supérieure appartienne à la zone G, mais aucun *Gastrioceras* n'y a été trouvé jusqu'ici.



### 3°) - Série à faune marine riche

C'est l'ensemble des zones II et III de M. A. BOURGZ (1954) : zone schisto-gréseuse avec très rares sols de végétation sans veines de houille importantes. Elle est limitée au sommet par le "Banc à P. corrugatus", à la base par le sommet de la "Zone des murs". Elle mesure à Valenciennes entre 140 et 180 m d'épaisseur. Elle s'amincit beaucoup dans le Pas-de-Calais.

On y trouve habituellement, intercalés à certains niveaux, de minces bancs de schiste calcaire ou de calcaire à encrines et parfois même quelques bancs de phthanite. Il y a de nombreux bancs marins à faune très riche de lamellibranches et de brachiopodes. En plus du "Banc à P. corrugatus" qui en forme la limite supérieure, on trouve vers le milieu de la série un "Banc à Productus à test blanc" qui constitue un excellent niveau-repère.

Enfin cette série contient un grand nombre de bancs à goniatites. On y observe de haut en bas : *Reticuloceras* sp. (espèce non décrite) ; *R. reticulatum* s.s ; *R. gr. nodosum* (*R. adpressum* et *R. stubblefieldi*) ; *R. cf. pulchellum* ; *Homoceras henkei* (+ *R. circumpliatile* et *Homoceratoides varicatum*) ; *H. magistrorum* ; *Ht. prereticulatum* ; *H. undulatum* ; *Hudsonoceras proteum* (+ *Homoceras* sp.). Nous en reparlerons dans le chapitre suivant. Remarquons que cette série appartient en grande partie à la sous-zone R<sub>7</sub>, sauf la partie inférieure qui appartient à la zone H.

### 4°) - Zone des murs

C'est la zone IV de M. A BOURGZ (1954) : zone à sols de végétation abondants. C'est là que l'on trouve à Valenciennes le niveau de la veine Saint-Georges.

L'épaisseur de la "Zone des murs" augmente d'est en ouest dans le groupe de Valenciennes : elle mesure 20 m à la fosse Ledoux, 100 m à la fosse Heurteau, mais en ce dernier point le "Grès de Suchemont" n'existe pas et il est probable que la partie inférieure de la Zone des murs y représente un passage latéral de faciès du Grès de Suchemont. Cette épaisseur de 100 m est d'ailleurs un maximum ; au sondage de la ferme des Raismes elle est déjà réduite à 30 m et elle s'amenuise dans le Pas-de-Calais où elle mesure généralement moins de 10 m.

### 5°) - Grès de Suchemont

Formation gréseuse, de 10 à 50 m d'épaisseur, connue seulement dans la partie est de la région de Valenciennes. Elle diminue d'épaisseur vers le Nord (2ème sondage de Bruille) et disparaît vers l'Ouest à la fosse Heurteau où elle semble passer latéralement à la zone des murs dont l'épaisseur est fortement augmentée en ce point.

### 6°) - Ampélites de Bruille

Formation schisteuse ampéliteuse avec *Posidoniella*. Elle est très épaisse dans la région de Valenciennes (160 m au S. 190, 140 m au S. intérieur n° 1 d'Heurteau) avec tendance à la réduction vers le Nord (100 m aux sondages de Bruille). Elle contient, surtout vers la base, des bancs de calcaire intercalaires sans encrines et de nombreux bancs à goniatites. On y a observé de haut en bas : *Homoceras beyrichianum* ; *Eumorphoceras bisulcatum* et *Anthracoceras* gr. *auclobum* ; *Cravenoceratoides* gr. *edalense* ; *Eumorphoceras* sp. La partie supérieure de la formation appartient à la zone H, la partie inférieure à la zone E.

Vers l'Ouest, l'épaisseur des ampélites de Bruille se réduit beaucoup : la partie inférieure a disparu et l'on voit (Fig. 3) les bancs à *Homoceras beyrichianum* reposer directement sur le Calcaire carbonifère. En certains points elle est plus réduite encore, et toute la formation est représentée seulement par quelques mètres de schiste à *Planolites ophthalmoides*.

### 7°) - Phtanites

Formation siliceuse, bien développée dans la région de Valenciennes où elle mesure de 20 à 50 m d'épaisseur, très mince ou inexistante dans le Pas-de-Calais.

Le tableau I compare la série stratigraphique établie dans le Namurien du bassin houiller du Nord de la France avec celle établie et décrite en Belgique où se prolonge ce bassin.

Comme le Westphalien, le Namurien avait été divisé en assises : celles de Flines et de Bruille ; leurs limites sont précisées dans le quatrième chapitre.

## 5°) - Grès de Suchemont

Formation gréseuse, de 10 à 50 m d'épaisseur, connue seulement dans la partie est de la région de Valenciennes. Elle diminue d'épaisseur vers le Nord (2ème sondage de Bruille) et disparaît vers l'Ouest à la fosse Heurteau où elle semble passer latéralement à la Zone des murs dont l'épaisseur est fortement augmentée en ce point.

## 6°) - Ampélites de Bruille

Formation schisteuse ampéliteuse avec *Posidoniella*. Elle est très épaisse dans la région de Valenciennes (160 m au S. 190, 140 m au S. intérieur n°1 d'Heurteau) avec tendance à la réduction vers le Nord (100 m aux sondages de Bruille). Elle contient, surtout vers la base, des bancs de calcaire intercalaires sans encrines et de nombreux bancs à goniatites. On y a observé de haut en bas : *Homoceras beyrichianum* ; *Eumorphoceras bisulcatum* et *Anthracoeras gr. aucilobum* ; *Cravenoceratoides gr. edalense* ; *Eumorphoceras sp.* La partie supérieure de la formation appartient à la zone H, la partie inférieure à la zone E.

Vers l'Ouest, l'épaisseur des ampélites de Bruille se réduit beaucoup : la partie inférieure a disparu et l'on voit (fig.3) les bancs à *Homoceras beyrichianum* reposer directement sur le Calcaire carbonifère. En certains points elle est plus réduite encore, et toute la formation est représentée seulement par quelques mètres de schiste à *Planolites ophthalmoides*.

## 7°) - Phtanites

Formation siliceuse, bien développée dans la région de Valenciennes où elle mesure de 20 à 50 m d'épaisseur, très mince ou inexistante dans le Pas-de-Calais.

Le tableau I compare la série stratigraphique établie dans le Namurien du bassin houiller du Nord de la France avec celle établie et décrite en Belgique où se prolonge ce bassin.

Comme le Westphalien, le Namurien avait été divisé en assises : celles de Flines et de Bruille ; leurs limites sont précisées dans le quatrième chapitre.

FRANCE				BELGIQUE	
Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais					
Assise	Subs-pratique	Horizons à goniatites			
		Niveau marin de la Passe de Laire			
		Absence de goniatites			
G <sub>1</sub>	ASSISE DE FLINES	SÈRE À PALME MARINE PAUVRE			WESTPHAL
B <sub>2</sub>				ZONE DE GILLY	NAMURIEN
			<i>Reticuloceras matablinque</i>	ZONE DE BAULET	
			<i>Reticuloceras sp.</i> (espèce non décrite)		
			<i>R. reticulatum s.s.</i>		
			<i>R. nodosum</i> (= <i>R. edgessum</i> et <i>R. stubbiafeldi</i> )		
			<i>R. cf. pulchellum</i>		
			<i>H. henrici</i> (= <i>H. consumptibile</i> et <i>H. varicosum</i> )		
			<i>H. magistrorum</i>		
			<i>H. perreticulatum</i>		
			<i>H. undulatum</i>		
			<i>H. proteum</i> (= <i>Homoceras sp.</i> )		
H <sub>2</sub>		ZONE DES MURS	Non marin	ZONE DE SIPPENAKEN MOYENNE	
M <sub>1</sub>		GÈSE DE SUCHEMONT	Non marin	ZONE DE SIPPENAKEN INFÉRIEURE	
	ASSISE DE BRUILLE		<i>H. beyrichianum</i>	ZONE DE SPY	
E <sub>2</sub>		AMPÉLITES DE BRUILLE	<i>E. bisulcatum</i>	ZONE DE MALONNE	
E <sub>1</sub>			<i>Eumorphoceras sp.</i>	ZONE DE BIOUL	
		PHTANITES	?		
			<i>G. gr. subcirculans</i>		MOSEEN

TABLEAU I : Comparaison entre le Namurien du Bassin houiller du Nord de la France et celui du Bassin houiller Belge.

L'assise de Bruille, au sens traditionnel, comprend le "Grès de Suchemont", les "Ampélites de Bruille" et les "Phtanites". Son épaisseur totale à Valenciennes varie de 180 à 240 m ; elle se réduit beaucoup dans le Pas-de-Calais. Sa limite inférieure est la tête du Calcaire carbonifère, sa limite supérieure est la base de la Zone des murs.

Nous ne savons pas si sa limite inférieure coïncide exactement avec la limite Viséen-Namurien, tant à Valenciennes que dans le Pas-de-Calais. A Valenciennes en effet les Phtanites, rangés dans l'assise de Bruille, ne sont pas datés avec précision et nous ne savons pas s'ils sont viséens ou namuriens ; dans le Pas-de-Calais, c'est la tête du Calcaire carbonifère qui n'a pas été datée par des fossiles.

La limite supérieure de l'assise de Bruille est placée à la base de la Zone des murs. Elle sépare l'assise de Bruille, dépourvue de charbon et de murs, de l'assise de Flines qui en contient. La limite est facile à placer et à cartographier et c'est là son principal avantage. Bien entendu c'est une limite locale, basée sur des considérations de faciès et valable seulement pour l'étendue du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Mais c'est le sort commun à beaucoup de limites d'assises.

L'assise de Bruille, définie de cette façon, comprend la zone E et une partie de la zone H correspondant à peu près à la notation  $H_1$ . Toutefois nous ne pouvons pas dire avec qu'elle approximation la limite supérieure de l'assise de Bruille correspond à la limite  $H_1H_2$ .

Pour l'assise de Flines, la question des limites est encore plus délicate. Prise dans son sens traditionnel l'assise de Flines devrait être limitée au sommet par le Grès de Flines, limite qui est supposée coïncider avec la limite Namurien-Westphalien. Or nous avons vu que le Grès de Flines ne constituait pas une limite utilisable et que la limite Namurien-Westphalien ne pouvait pas être fixée avec précision dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, en l'absence de *Gastrioceras*. La limite supérieure de l'assise de Flines, prise dans son sens traditionnel, resterait donc imprécise.

Pour éviter cet inconvénient et après bien des hésitations, nous avons fini par nous rallier à une solution proposée par M. A. BOURG : rendre la limite supérieure de l'assise de Flines indépendante de la limite supérieure du Namurien et la fixer à la Passée de Laure.

Pour nous l'assise de Flines comprend donc de bas en haut : la "Zone des murs", la "Série à faune marine riche" et la "Série à faune marine pauvre", chacune de ces subdivisions comportant d'ailleurs des alternances, répétées un certain nombre de fois, de formations continentales avec petites couches de charbon et murs, et de formations marines. L'assise mesure à Valenciennes, suivant les points, 360 à 460 m d'épaisseur, mais elle se réduit beaucoup dans le Pas-de-Calais. Sa limite inférieure est la base de la zone des murs ; sa limite supérieure est la Passée de Laure, horizon-repère bien connu et suivi d'un bout à l'autre du Bassin. Elle comprend donc à la partie supérieure des couches qui sont déjà d'âge westphalien.

Quant à la limite Namurien-Westphalien elle reste fixée bien entendu à l'horizon à *Gastrioceras subcrenatum*. Mais, comme le fossile n'a pas été trouvé jusqu'ici dans le bassin houiller du Nord de la France, la limite ne peut pas y être placée avec précision."

Sous le houiller stérile (Namurien) repose le Dinantien qui regroupe 2 étages :  
le Viséen (Dinantien supérieur) et le Tournaisien (Dinantien inférieur).

L'ensemble, désigné sous le terme Calcaire carbonifère recèle d'importantes ressources en eau, du moins au Nord de notre zone d'étude, aussi a-t'il fait l'objet de nombreux travaux. L'un des plus récents est celui de Houchang Youssof : "Hydrologie karstique du Calcaire carbonifère de la Belgique et du Nord de la France. Synthèse des données acquises en 1972". Nous reprendrons sa stratigraphie détaillée (cf. tableau II) :

h2 = Viséen : divisé en 3 assises :

h2c = Viséen supérieur. (Assise de Bioul et de Warnant à *Productus giganteus*).

L'assise de Bioul et de Warnant est, pour sa plus grande partie, formée de sédiments calcaires variés : calcaires massifs, stratifiés, bréchoïdes, oolithiques, crinoïdiques. Elle se termine vers le haut par des alternances de dépôts calcaires et terrigènes fins (faciès "culm") par lesquels s'opère le passage aux formations terrigènes du Namurien.

On y distingue trois sous-assises dont la supérieure se divise en deux :

- v 3 c sup. : Schistes et phanites de Warnant,
- V 3c. inf. : Calcaires noirs, calcschistes et schistes de Warnant ; couches phaniteuses et sommet du calcaire de Visé,
- V 3 b. : Bancs supérieurs d'Anhée ; "Marbre bleu belge" ; "Petit granite" de Thon ; calcaire de Visé.
- V 3 a. "Grande Brèche" ; oolithe supérieure ; calcaire de Visé.

La faune du Viséen supérieur est très riche et diffère dans d'assez larges proportions, de celle du Viséen moyen. Elle est surtout connue par les récoltes effectuées dans les faciès d'accumulation de Visé et dans le marbre "Bleu belge".

Dans le Hainaut occidental on peut attribuer au Viséen supérieur tout ou partie du "Calcaire de Blaton".

Dans la région de la Dendre à la Samme, il n'existe pas de coupe continue à travers l'assise, mais le contact du faciès calcaire dinantien et du faciès terrigène silicifié est bien exposé à Sirault.

h2b = Viséen moyen. (Assise de Namèche à *Productus cora*).

L'assise de Namèche est, dans son entier, sous le faciès calcaire : calcaires

Etage	Assise	Notation officielle carte géologique Belge	Notation de la carte géologique française	Lithologie des couches et désignation
VISEEN (V)	3. de Bioul et de Warnant	V3c { Sup. Inf.	h2c	- Schistes et phthanites de Warnant - Calcaires noirs, calcschistes et schistes de Warnant - Couches phthaniteuses et sommet du calcaire de Visé - Bancs supérieurs d'Anhée ; marbre "bleu belge" de Bioul et de Warnant ; "Petit granite" de Thon ; calcaire de Visé - "Grande brèche" ; oolithe supérieure ; calcaire de Visé
	2. de Namèche	V2b V2a		- Calcaire de Lives ; bancs inférieurs d'Anhée ; "Petite brèche" - Calcaire de Neffe et oolithe moyenne
	1. de Dinant	V1b V1a { Sup. Inf.		- Calcaire et dolomie de Sovet ; Brèche de l'Ourthe et de la Vesdre - Marbre noir de Dinant. - Calcaire et dolomie oolithique ou crinoïdique à Productus sublaevis - Calcaire de Warchin ; récif "Waulsortien de Sosoye"
TOURNAISIEN (Tm)	3. de Celles	T2b T2a	h1c 3 2 1	- Calcaire de Leffe et de Paire ) ) - Calcaire de Gaurain- ) )niveau Ramecroix ) )ordinaire - Calcaire d'Antoing et ) )des de Calonne ) )"récifs" - "Petit granite" et ) )Waulsor- Calcaire de Vaulx et ) )tiens de Chercq ) )Tn 3 w - Calcaire de Pont-à- ) ) Rieu ) ) - Calcaire d'Yvoir et ) ) d'Allain ) )
	2. de Maredsous	T1d T1c T1b	h1b	- Calcschistes de Maredsous - Calcaire de Landelies - Schistes à Spiriferina peracuta
	1. d'Hasti- tière et d'Etroeungt	T1a	h1 a2 a1	- Calcaire et schistes d'Hasti- tière - Calcaire et schistes d'Etroeungt (Strunien) et de Comblain-au-Pont

**TABLEAU II : Stratigraphie du Dinantien (d'après H. YOUSSEF).**

compacts, subcompacts, massifs, stratifiés, oolithiques, bréchoïdes.

Elle comporte deux sous-assises :

- V 2 b. : Calcaire de Lives ; bancs inférieurs d'Anhée ; "Petite brèche",
- V 2 a. : Calcaire de Neffe ; oolithe.

Les caractères paléontologiques essentiels du Viséen moyen sont l'abondance, surtout dans le V 2 a, du Productus cora.

Dans le Hainaut occidental, les formations attribuables à l'assise de Namèche sont connues au Sud de l'anticlinal du Mèlantois-Tournaisis. Elles sont exploitées en carrières dans la région de Péruwelz - Basècles - Quevaucamp et affleurent plus à l'Est dans quelques vallées.

Le "Calcaire de Basècles" est constitué d'alternance de calcaires noirs, massifs, bien stratifiés, exploités comme marbres noirs, de calcaire argileux et de calcschistes en bancs minces, dont certains sont affectés de déformations sous-aquatiques.

Le calcaire de Basècles est puissant de 175 à 200 m.

De la Dendre à la Samme, les affleurements du Viséen moyen sont en général peu satisfaisants.

h2a = Viséen inférieur. (Assise de Dinant à Productus sublaevis V 1).

Essentiellement formée de calcaires (calcaires sombres, à cherts sapropéliens, oolithiques, crinoïdiques), et de dolomies variées, l'assise de Dinant renferme encore sporadiquement, dans le synclinorium de Dinant, des "récifs" waulsortiens à Bryozoaires.

Elle comporte deux sous-assises V1 a et V1 b dont l'inférieur doit, d'après G. DELEPINE être subdivisée en deux :

- V 1 b. : Brèche de l'Ourthe et de la Vesdre,  
Calcaire et dolomie de Sovet
- V 1 a. : V 1 a sup. : Marbre noir de Dinant,  
V 1 a inf. : Calcaires sombres divers,  
"Récif" waulsortien,  
Calcaire et dolomie crinoïdique,  
Calcaire et dolomie oolithique à Productus ublaevis.

La faune du Viséen inférieur est très riche et diffère profondément, dès la base de celle du Tournaisien supérieur, par l'apparition de toute une série de genres et d'espèces nouvelles ; elle abonde surtout dans les faciès waulsortiens.

Le marbre noir de Dinant, faciès sapropélien est célèbre pour la conservation exceptionnelle des organismes qui s'y sont fossilisés : méduses, Graptolites, Productus, poissons.

Les caractères paléontologiques essentiels de l'assise de Dinant sont l'abondance de Productus sublaevis.

Les faciès waulsortiens, le marbre noir de Dinant, le calcaire et la dolomie de Sovet ont, par ailleurs fourni des Goniatites.

Dans le Hainaut occidental, les couches attribuables au Viséen inférieur, ne sont guère connues que par sondages. Dans le Tournaisis, cette assise semble débiter par le "Calcaire de Warchin", reconnu sur plus de 42 m ; il s'agit du calcaire noirâtre très dur, généralement compact, à passées calcschisteuses, à rangées de cherts noirs.

A Velaines, au Nord-Est de Tournai, on connaît, par sondages, une assise de calcaires et dolomies tantôt crinoïdiques et très fossilifères, tantôt compacts et foncés, à niveaux chertueux, paraissant attribuables au V 1 b.

Des calcaires gris, subcrinoïdiques, un peu dolomitisés, sans cherts, ont été forés sur 15 m à Leuze, où ils reposent directement sur les calcaires de Vaulx de même faciès.

A Basècles, le calcaire et marbre noir de Basècles reposent sur des dolomies parfois crinoïdiques et oolithiques, à cherts noirs.

G. MORTELMANS et P. BOURGUIGNON ont rattaché ces faciès de Basècles et de Leuze à ceux de Velaines et les ont classés, au moins provisoirement dans le V 1 b. Il n'est pas exclu toutefois qu'ils appartiennent, au moins en partie, au V 1 a supérieur.

Dans la région s'étendant de la Dendre à la Samme, le Viséen inférieur est assez mal connu. Sur la Dendre, le Viséen inférieur paraît représenté par des alternances de calcaire bleu grenu et de dolomies à traînées subcrinoïdiques (Lens) surmontées de calcaires massifs plus ou moins dolomitisés, oolithiques ou crinoïdique (Ladeuze).

Plus à l'Est, dans la vallée du ruisseau de Mignault, le Viséen inférieur est sous faciès de dolomie crinoïdique surmontée par des calcaires noirs, compacts, sans fossiles (V 1 b ou V 2 a ?).

C'est encore sous ce faciès dolomitique que l'assise se rencontre jusqu'à la Samme.

h1 = Tournaisien : divisé également en 3 assises :

h1c = Tournaisien supérieur. (Assise de Celles à *Spirifer Konincki* Tn 3).

Essentiellement formée de calcaires (crinoïdiques, organo-détritiques, argilo-siliceux, chertueux) et de dolomies (crinoïdiques ou massives) : "dolomie tournaissienne", l'assise de Celles comporte encore, dans le synclinal de Dinant, de nombreux "récifs" Waulsortiens ou faciès d'accumulation à Bryozoaires (Tn 3 w).

Elle comporte trois sous-assises :

- Tn 3 c : Calcaire de Calonne, d'Antoing et de Gaurain-Ramecroix ; calcaire de Paire, de Leffe et de Malon-Fontaine,
- Tn 3 b : Calcaire crinoïdique (Petit granite) : Calcaires de Pont à Rieu (veine supérieure), de Vaulx et de Chercq,
- Tn 3 a : Calcaires d'Allain, d'Yvoir et de Pont à Rieu (veine inférieure),

Par suite de l'élargissement considérable de la bande dinantienne du bord nord du bassin de Namur à l'Ouest de la Dendre (plus de 30 km au méridien de Tournai), le Tournaisien supérieur du Tournaisis, entamé par de nombreuses carrières sur l'axe de l'anticlinal du Mélançois-Tournaisis, appartient à une zone plus méridionale que le Tournaisien supérieur situé à l'Est de la Dendre. Le Tournaisien supérieur de Leuze, connu par sondage, a une position intermédiaire dans les deux régions.

Nous étudierons successivement d'Ouest en Est les régions de Tournai, de Leuze et de la Dendre-Samme.

Les équivalences des assises, d'une région à l'autre, sont présentées sur la figure .

#### a) - Région de Tournai

L'assise de Celles est particulièrement puissante dans le Tournaisis où elle se subdivise en "veines" dont la corrélation la plus probable avec les subdivisions classiques s'établit comme suit :

- Tn 3 c : b. Calcaire de Gaurain-Ramecroix,  
a. Calcaire d'Antoing et de Calonne,
- Tn 3 b. b. Calcaire de Vaulx et de Chercq, discontinuité ou discordance légère :  
niveau du "Gras délit",  
a. Calcaire de Pont-à-Rieu (veine Première),
- Tn 3 a : b. Calcaire de Pont-à-Rieu (veine Providence),  
a. Calcaire d'Allain.

Le "Calcaire d'Allain", puissant de 30 à 32 m débute par 9 à 10 m de calcaires argilo-siliceux, noirâtres, subcrinoïdiques, très fossilifères, en bancs ondulés séparés par des lits calcschisteux ("Fonds d'Allain") ; ces couches sont surmontées de quelques 17 m de calcaire analogue aux premiers, mais plus réguliers, que surmontent 3 m de calcaire subcrinoïdiques à cherts noirs ("Carbonniaux d'Allain").

Le "Calcaire de Pont-à-Rieu" comprend deux "veines" superposées, celle de "la Providence" à la base, de "Première" au sommet. Le passage de la veine de la Providence au calcaire d'Allain sous-jacent est encore inconnu, mais le hiatus paraît faible. Connue sur 26 m cette veine est formée de calcaire à grain fin, gris-foncé, à traînées crinoïdiques peu nombreuses. Vers le haut existent des niveaux riches en cherts. Elle se termine par les "bancs à moules" véritables lumachelles à Brachiopodes.

Le forage de Tournai a débuté dans ce niveau (Tn 3 a). L'ensemble du "Calcaire d'Allain" et celui de "la Providence" atteint 70 m à Tournai.

Puissante de 22 à 27 m, la "veine de Première" consiste en un calcaire crinoïdique, à rangées de cherts, surmontés de "banc de gris", riches en chaux.

A Vaulx et Calonne existent encore des bancs subcrinoïdiques, à stratifications onduleuses ou entrecroisées, dont la puissance peut atteindre 20 m. On y voit un chenal d'érosion indiquant des apports venant du secteur nord, tronqué par le "Gras délit". C'est un joint de stratification argileux, épais, tronquant irrégulièrement les couches sous-jacentes, postérieurement à une légère phase de déformations suivie d'érosion.

L'ensemble de ce niveau (Tn 3 b) est épais de 50 m à Tournai.

Le "Calcaire d'Antoing" correspond à la "Veine du bois" et à la partie inférieure du Calcaire de Gaurain-Ramecroix. On le fait débiter au "Gras délit". En fait, les quelques bancs sous-jacents appartiennent déjà, paléontologiquement et stratigraphiquement à cet horizon ; on peut les voir, en effet, dans certaines carrières, biseauter les bancs du Calcaire de Vaulx.

Puissant de 51 m, le Calcaire d'Antoing inaugure les faciès argilo-siliceux compacts, à grains très fins, gris-foncé à gris-noirâtre, bien lités. Il renferme plusieurs niveaux chertueux.

Le "Calcaire de Gaurain-Ramecroix" n'est que partiellement exposé en carrières, mais les données résultant des sondages permettent de lui attribuer une puissance de 56 m. Il est formé de calcaires à grains très fins, compacts, à peu près sans fossiles, mais riche en perforations qui lui donnent un aspect marbré dans les cassures. Un peu plus clair que le calcaire d'Antoing, il est aussi plus riche en chaux.

b) - Région de Leuze

A Leuze, plusieurs sondages permettent de se faire une idée assez claire de la succession de l'assise de Celles.

- Tn 3 c : Calcaire gris, subcrinoïdique, sans cherts, un peu dolomitisé. Vu sur 44 m,
- Tn 3 b : Calcaire gris crinoïdique, en bancs épais (Calcaire de Première) 22,80 m, Calcaire gris, subcrinoïdique, à cherts avec à la base le niveau des "sept petits carbonniaux" (Calcaire de Vaulx et de Chercq) 18,60 m,
- Tn 3 a : Calcaire silico-argileux en bancs très minces d'aspect calcschisteux (calcaire d'Allain). Traversé sur 10,85 m, Calcaire foncé à niveau dolomitique avec cherts noirs ; à la base, le carbonnau d'Allain (Calcaire de la Providence) 9,25 m.

Au forage de Leuze, l'assise Tn 3 a été traversée dans sa totalité, de 292 à 441 m, soit une épaisseur de 149 m.

Cette succession montre une réduction considérable des termes supérieurs du Tn 3 ; l'étude du Viséen fera apparaître en outre l'absence du Calcaire de Warchin, base probable du Viséen du Tournaisis.

La région de Leuze a donc constitué, pendant le Tn 3 c et V 1a, une aire de surélévation, probablement émergée.

Les niveaux inférieurs offrent des puissances comparables de part et d'autre.

c) - Région de la Dendre à la Samme

Dans cette vaste région, la bande dinantienne, fortement réduite, est entamée par plusieurs rivières qui donnent des affleurements discontinus le long de toutes les vallées dirigées du Sud au Nord.

A de rares exceptions près, seul le niveau du "Petit granite" a fait l'objet d'exploitation en carrières.

- Au-dessus des calcaires et calcschistes du Tn 2c, la sous-assise d'Yvoir (Tn 3 a) débute par des calcaires noirs, argileux, subcompacts, en bancs minces, à cherts, surmontés de calcaires ou de dolomites à traînées crinoïdiques, à rangées de cherts.

Cet ensemble est puissant d'au moins 25 à 30 m ; son sommet pourrait représenter d'ailleurs une partie de la base du Tn 3 b.

- Au-dessus de ce complexe apparaît le "Petit granite" (Tn 3 b).

C'est un calcaire formé uniquement de débris de crinoïdiques et d'autres fossiles notamment *Spirifer Konincki*. Il est en bancs épais, souvent à joints stylolithiques onduleux. Son toit est formé par le "Délit à la terre", joint schisteux épais de 0,10 à 0,15 m qui est l'équivalent du "Gras délit".

Puissant de 22 à 25 m, le Tn 3 b débute souvent par des faciès de dolomies crinoïdiques, cherteuses ou non.

- Le Tn 3 c, au-dessus du "Délit à la terre", débute par 5 à 7 m de calcaire gris-foncé, à traînées crinoïdiques, en petits bancs.

A ces roches succèdent des calcaires noirs à cherts, en bancs peu épais, à entrecouches calcschisteuses, se chargeant de cherts vers le haut, qui forment la base du "Calcaire de Malon-Fontaine".

Puissant, au minimum de 20 m, ce calcaire paraît correspondre à celui d'Antoing.

h1b = Tournaisien moyen. (Assise de Maredsous à *Spirifer tornacensis*).

Cette assise, sous son faciès le plus caractéristique, comporte trois subdivisions lithologiques ou paléontologiques dont l'ensemble constitue un cycle sédimentaire à terme médian organo-détritique calcaire, encadré de deux termes fortement chargés en matériel terrigène fin :

- Tn 2 c : Calcschistes de Maredsous,
- Tn 2 b : Calcaire de Landelies,
- Tn 2 a : Schistes à *Spiriferina peracuta*.

De Tournai à la Samme, au bord nord du Bassin de Namur, est seule connue par les puits des carrières d'Allain, dans le Tournaisis, la sous-assise Tn 2c. Elle est représentée à Tournai par les "calcschistes de l'Orient", percés sur 40 m sans que la base en fut atteinte, et qui revêtent le faciès classique des calcschistes gris-foncé avec niveaux crinoïdiques et fossilifères augmentant vers le haut. Elle a été traversée au forage de Tournai et de Leuze où son épaisseur totale atteint 60 m à Tournai et 58 m à Leuze.

L'ensemble de l'assise totalise 163 m à Tournai et 148 m à Leuze.

Les sondages de la campagne de "core-drills" (sondages de reconnaissance) au Paléozoïque, effectués par l'association SNPA-ESSOREP sur son permis d'Armentières, confirment d'excellentes corrélations diagraphiques entre certains core-drills (Li 11-12-15-16-17-19) et les forages de Tournai et de Leuze. (Fig. 4).

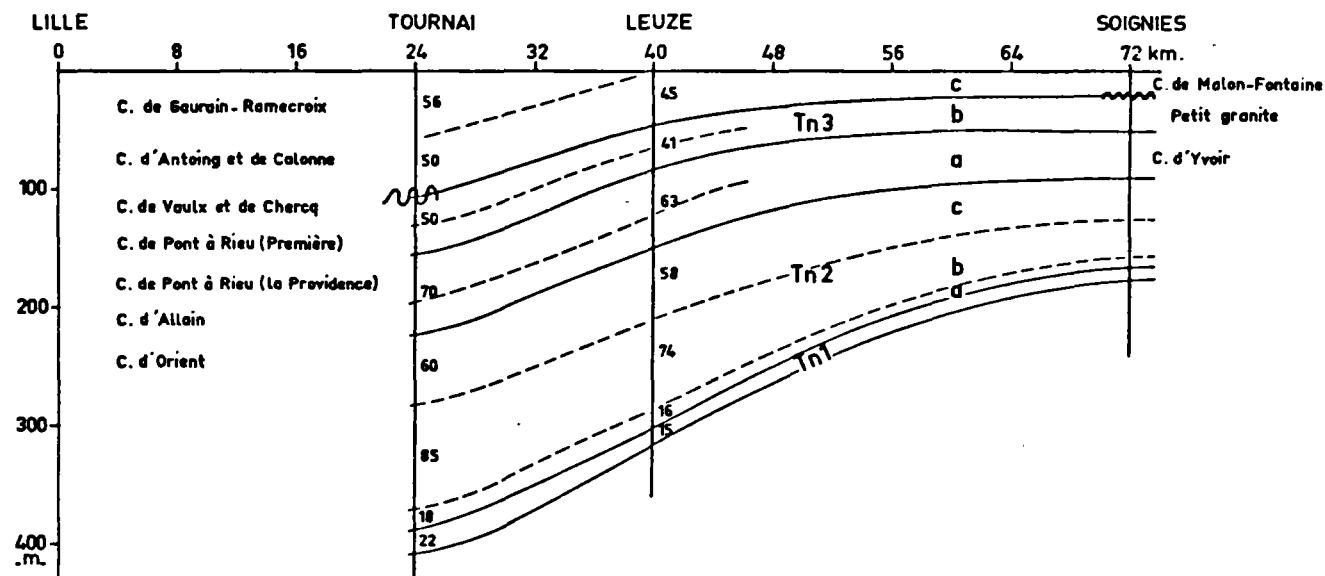
# VARIATIONS DE LA PUISSANCE DU TOURNAISIEN ENTRE TOURNAI ET SOIGNIES (Belgique)

Fig. 4

(extrait de la thèse de M. YOUSSEF)

\_Ouest\_

\_Est\_



Gras délit -  
Délit à la terre -

Par contre, les séries du Tournaisien supérieur (Tn 3) et du Viséen recoupées par les core-drills Li 10-13-14-18 bis et Ro 1 ne sont pas corrélables par diagraphie de façon sûre avec la série du même âge, recoupée à Tournai et à Leuze.

La succession normale des couches est troublée notamment à Tournai par une série de fractures et de failles.

Les variations de faciès et d'épaisseurs sont difficiles à saisir en raison de faibles épaisseurs recoupées par chacun des sondages dans la région lilloise. Cependant, on peut conclure à la continuité des faciès du Tournaisien moyen par rapport à ceux connus à Tournai et à Leuze.

En ce qui concerne les épaisseurs, seul le Tn 2 est recoupé dans sa presque totalité par les core-drills Li 17 et Li 19, il apparaît nettement moins épais qu'à Tournai et à Leuze.

	Lille	Tournai	Leuze
Epaisseur du Tn 2 c	45 m	60 m	58 m

h1a = Tournaisien inférieur. (Assise d'Hastièrre et d'Etroeungt Tn1)

Formées d'alternances de macignos<sup>(1)</sup>, de schistes calcaires et de calcaires sableux ou argileux, les couches de base du Dinantien se divisent en deux sous-assises :

- Tn 1 b : Calcaire et schistes d'Hastièrre,
- Tn 1 a : Calcaire, macignos, psammites et schistes d'Etroeungt et de Comblain-au-Pont (Strunien).

Par suite de leur peu d'intérêt économique, ces couches de base du Dinantien au bord nord du Bassin de Namur n'ont été exploitées qu'en quelques rares points. Entre ceux-ci elles sont cachées ou imparfaitement exposées.

Ces couches ne sont pas connues en affleurement à l'Ouest de la Dendre. Elles ont cependant été touchées au sondage de Dergneau, au S-SW de Renaix, où elles sont formées de dolomie brune, siliceuse, reposant sur le Famennien, ainsi qu'aux forages de Tournai et de Leuze, où elles sont puissantes respectivement de 22 m et 15 m. Au sondage Annappes I (le premier sondage profond de la campagne de sondages de reconnaissance au Paléozoïque de la SNPA-ESSOREP), le toit du Strunien a été atteint à la profondeur de 46 m. On trouve là, sous le Crétacé quelques 7 m de schistes attribuables au Tn 1, extrême base du Tournaisien. La totalité du Dinantien calcaire y a été décapée par l'érosion post-hercynienne.

---

(1) - En Belgique, on désigne sous le nom de macigno un grès à ciment argilo-calcaire.

## 2142 - Dévonien .....

Nous en décrivons rapidement l'étage supérieur (Famennien), puisqu'il constitue le substratum du Calcaire carbonifère.

Le Famennien est défini par F. MAGNE dans sa thèse de 3ème cycle "Données micropaléontologiques et stratigraphiques dans le Dévonien du Boulonnais (France) et du Bassin de Namur (Belgique)". C'est un complexe schisto-gréseux dont la série complète n'existerait que sur le bord sud du Bassin de Namur, sur le bord nord, le Famennien inférieur serait très réduit.

La monotonie des dépôts arénacés n'est interrompue qu'à la faveur d'épisodes carbonatés identifiés dans les sondages de Tournai et Vieux-Leuze.

Les grès psammitiques de la partie supérieure renferment les indices des domaines continentaux ou littoraux :

- lits anthraciteux, conglomérats intraformationnels (Sennette),
- stratification entrecroisée (Somme),
- roches rouges puis association microscopique d'Algues (Tournai, 276 à 339m),
- faune lacustre et lagunaire (Vieux-Leuze, 607 à 675 m)

sur la bordure méridionale du bassin, le caractère marin s'accroît sans toutefois évoquer une zone plus profonde.

## 22 - Localisation géographique et paléogéographique du Calcaire carbonifère (d'après H. YOUSSEF).

### 221 - Généralités

La grande transgression mésogéenne, qui a eu lieu au début du Carbonifère, progresse du Sud vers le Nord sur le domaine des Vieux-Grès-Rouges. Elle y amène des dépôts marins surtout calcaires qui forment une nouvelle unité stratigraphique : l'étage Dinantien (Calcaire carbonifère).

Dans ces régions (Belgique, Nord de la France, Angleterre, Pays de Galles, et une partie de l'Irlande) où il a été défini, l'étage Dinantien revêt ce faciès calcaire. Celui-ci est lié aux plates-formes épicontinentales du bord sud de l'ancien continent, en voie de lente subsidence (calcaire massif, en gros bancs). S'y dessinaient pourtant des zones limitées, à subsidence plus rapide et puissance plus grande de couches (calcaires impurs, en petits bancs, à intercalations schisteuses à Goniatites). Les dépôts sont naturellement néritiques. La sédimentation calcaire (zoogène) l'emporte sur les apports terrigènes.

Les subdivisions de la stratigraphie reposent sur les zones de Polypiers (surtout en Angleterre) et de Brachyopodes (surtout en Belgique et le Nord de la France).

En Belgique et dans le Nord de la France, le faciès calcaire ne s'est cependant pas installé d'emblée, mais de manière progressive. L'étage Dinantien présente à sa base des intercalations de faciès terrigène Culm. Il en est de même à son sommet.

Le Hainaut occidental est l'une des régions où ces influences sont le mieux marquées.

Les dépôts dinantiens du bassin franco-belge appartiennent à une grande unité paléogéographique qui formait un bras de mer plus ou moins large, en forme d'arc à concavité tournée vers le Nord bordé au Nord par la grande île Midlands-Brabant, au Sud par les premiers chaînons nés des phases bretonnes de l'orogénèse hercynienne.

Au cours du Dinantien, l'accroissement progressif de la région émergée rétrécira peu à peu ce bras de mer, rejetant en même temps la zone de subsidence maximale de plus en plus vers le Nord, avec transgressions corrélatives sur la bordure de l'île brabançonne. Les dépôts qui s'y formèrent sont actuellement conservés, du Boulonnais au Rhin, dans les zones axiales du synclinorium de Namur ainsi que dans celui de Dinant.

#### 222 - Localisation géographique et paléogéographique du Dinantien - Répartition des faciès

Les roches carbonatées forment la presque totalité du Dinantien. La plus inférieure de ces formations mérite une mention spéciale : elle contient des sédiments terrigènes ; ceux-ci prolongent normalement la sédimentation dévonienne. Elle est connue en particulier dans les localités d'Étroeuingt en France et de Comblain-au-Pont en Belgique (Bassin de Dinant). Et, par ailleurs, elle montre des caractères mixtes entre le Dévonien et le Dinantien ; les *Spirifer verneuilli* du Dévonien y persiste. Il s'agit donc de véritables couches de passage entre les deux systèmes, ce passage s'effectue, dans le bassin franco-belge, dans une série continue d'assises marines : c'est le Strunien.

Au Dinantien proprement-dit, le régime carbonaté s'installe. Il montre des faciès extrêmement variés, ce qui a longtemps empêché d'en préciser la stratigraphie.

On peut distinguer des faciès de profondeurs différentes. Ces variations locales sont surtout marquées pour les termes moyens, Tournaisien supérieur et Viséen inférieur.

Dans la partie centrale du Bassin de Dinant, le "Calcaire noir" et le "Marbre de Dinant" représentent, à ce niveau, des sédiments vaseux, calcaires à grain fin avec Céphalopodes et grands Productus des fonds argileux. Mais, quand on s'écarte vers le Nord, et qu'on va dans le Bassin de Namur, on voit le "Petit granite", qui dépend des calcaires noirs, en même temps que le Marbre noir de Dinant est remplacé par des calcaires oolithiques ou crinoïdiques.

Le calcaire crinoïdique correspond à un faciès de zone littorale.

De même la dolomitisation affecte, sur la bordure nord du Bassin de Namur, une grande partie des formations dinantiennes. Elle est particulièrement importante au Tournaisien supérieur et à la base du Viséen. Le reste du Viséen est calcaire.

Au Sud, sur la bordure méridionale du Bassin de Dinant, c'est-à-dire en approchant de l'Ardenne, on voit apparaître à la limite du Tournaisien et du Viséen, un faciès récifal spécial où abondent les Bryozoaires (Fenestella) : c'est le faciès connu sous le nom de "récif", associés à des dolomies grises et des calcaires à Encrines (calcaire crinoïdique).

Enfin, la couche connue sous le nom de "Grande brèche" mérite une mention spéciale : c'est une "brèche sédimentaire", parfois à ciment rouge, et représentant d'anciens éboulis partiellement sous-marins, car P. BOURGUIGNON y a signalé des Goniatites. Ainsi, il devait y avoir, pendant le Dinantien, des hauts-fonds et même des régions émergées en bordure du Bassin de Dinant, entre les massifs de l'Ardenne et du Brabant.

Nous pouvons résumer la distribution de ces faciès dans une carte schématique (Fig. 5 d'après G. DELEPINE et A. CARPENTIER).

Ce schéma montre que la zone des faciès vaseux se trouve au centre d'un bras de mer, peu profonde sans doute, mais en voie de subsidence, comme en témoignent les plus grandes épaisseurs du Dinantien (Tournaisien) ; il était bordé par les faciès littoraux, épicon-tinentaux qui se développent au pourtour des deux grandes aires anticlinales de l'Ardenne et du Brabant, lesquelles ont dû être, au moins temporairement, partiellement émergées.

Les types des deux sous-étages Tournaisien et Viséen ont été choisis à Tournai et à Visé, en-dehors des grands affleurements de Dinantien. Il y a dans ces deux localités, des carrières qui ont fourni beaucoup de fossiles, mais les conditions stratigraphiques de ces deux régions sont peu claires.

Dans la région de Tournai, on observe que le Tournaisien supérieur représenté par des faciès calcaires ou schisteux, vaseux, analogues à ceux de la partie centrale du Bassin de Dinant. La série débute par les calcschistes - équivalents de Calcaires d'Etroëungt et d'Hastière - puis ce sont des calcaires marneux noirs-équivalents des calcschistes de Maredsous - et enfin des calcaires crinoïdiques "Petit granite" qui terminent le Tournaisien.

Ces deux derniers faciès correspondent respectivement aux deux zones à Spirifer tor-nacensis et à Spirifer Konincki.

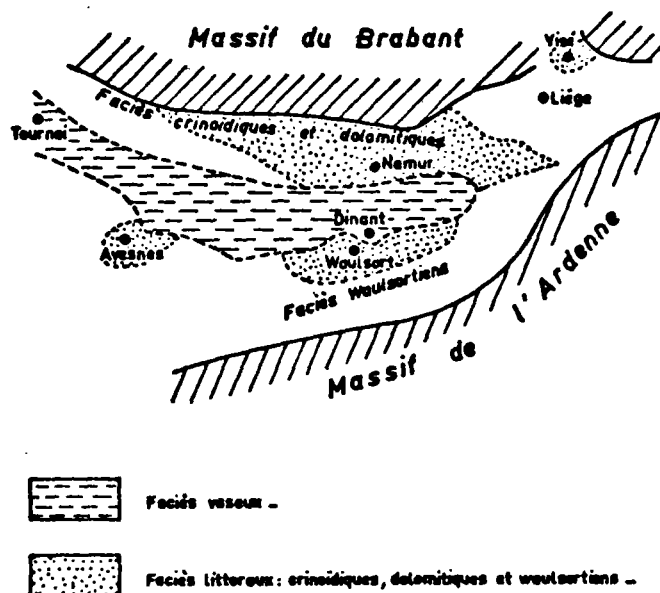
Le "Petit granite" et les calcaires noirs situés au-dessus passent latéralement à des dolomies à encrines. Dans la suite, les calcaires noirs de Tournai, comme ceux du Hainaut, apparaîtront contemporains des calcaires de Leffe et de Paire, dans le Bassin de Dinant. Ils représentent le sommet du Tournaisien et non la base du Viséen, comme l'indiquait la feuille géologique de Tournai au 40 000ème.

Vers l'Est, se développent les faciès dolomitiques. La dolomie peut envahir toutes les formations et se rencontrer jusque dans le Viséen.

## RÉPARTITION SCHEMATIQUE DES FACIÈS DU CALCAIRE CARBONIFÈRE

( d'après G-DELÉPINE et A-CARPENTIER )

Fig. 5



Quant à la région de Visé, le Viséen supérieur, représenté par des calcaires noirs à *Productus giganteus*, est surmonté de la "Grande brèche" (zone à Goniatites), de calc-schistes, de schistes noirs (ampelites) et de phanites.

Rappelons enfin que le Viséen débute par des calcaires et dolomies oolithiques à *Productus sublaevis* (le "Marbre noir de Dinant" en étant un faciès latéral) puis les calcaires deviennent bréchoïdes et localement oolithiques à *Productus cora*.

### 23 - Tectonique subie par le Calcaire carbonifère (d'après H. YOUSSEF)

#### 231 - Phase sudète de l'orogénèse hercynienne : surrection de l'Europe moyenne

A la fin du Dinantien il se produit une régression générale, à la fois sur les plates-formes et dans le domaine mésogéen ; elle coïncide avec la phase orogénique sudète, qui fait surgir au milieu de ce domaine la Cordillère de l'Europe moyenne. Les derniers batholites de granites hercyniens se mettent en place au Namurien dans cette Cordillère. L'érosion de cette chaîne (dont le relief devait être considérable à en juger par le volume des blocs de certains conglomérats houillers, révélant ainsi l'existence de pentes rapides) va fournir les sédiments qui se déposeront dans les bassins houillers (glyptogénèse).

### 232 - Régression marine générale

A la suite de l'apparition de l'Europe moyenne la Mer mésogéenne est désormais divisée en deux :

- 1°) - au Nord : une dépression, sertie de lagunes littorales et communiquant à l'Est avec la Mer russe,
- 2°) - au Sud : nous retrouvons le domaine de la Mer mésogéenne, très diminué par rapport à ce qu'il était au début des temps paléozoïques.

Dans tout le domaine perdu de la mer, les formations continentales renferment des dépôts de charbon. C'est le terrain houiller productif (le Westphalien) d'où l'importance économique de cette régression marine.

L'individualité du Dinantien achève donc de se préciser par cet important changement paléogéographique qui en marque la fin.

### 233 - Phase asturienne de l'orogénèse hercynienne : dépôt houillers-Formations du "Bassin carbonifère franco-belge"

Aussitôt après le Dinantien, les mouvements de l'orogénèse hercynienne paraissent être devenus beaucoup plus intenses ; c'est à ce moment que se place la formation des granites qui recoupent fréquemment le Dinantien, et jamais les terrains postérieurs.

Ces mouvements ont bouleversé toute la partie centrale de la chaîne hercynienne, depuis les Pyrénées jusqu'à la Bretagne et aux Vosges. Ils se sont ensuite étendus progressivement à l'Ardenne, où leur première conséquence a été d'isoler de la mer une vaste région, où les sédiments détritiques se sont accumulés dans une grande lagune d'eau douce sur les hauts fonds de laquelle s'est développée une végétation exubérante. Cette lagune est devenue le bassin houiller franco-belge, au Sud duquel l'Ardenne devait présenter des reliefs assez escarpés fortement attaqués par l'érosion, puisqu'on trouve dans les conglomérats du Houiller, à toutes les hauteurs de celui-ci des galets de toutes les roches de l'Ardenne.

### 234 - Phase saalienne de l'orogénèse hercynienne : début d'une période aride

A la fin de la période houillère, la phase orogénique saalienne déforme les dépôts houillers et leur substratum.

Puis une période d'érosion aplanit les reliefs hercyniens et les recouvre de dépôts continentaux de faciès "Vieux-grès-rouges". La couverture forestière étant détruite, le transport s'effectue des sols rouges latéritiques vers les bassins de sédimentation. Ces dépôts rouges surmontent donc les gisements houillers. Ils sont nommés par les Anglais "New Red Sandstones" par opposition aux précédents. Ils comportent comme au temps des "Vieux-grès-rouges" des lagunes et bassin de sédimentation avec dépôts de sel (gypse),

et traduisent l'existence d'un climat semi-désertique.

Soulignons l'importance de la phase saalienne qui correspondant, en Europe occidentale, à la grande discordance très générale, fait la limite entre l'Ere primaire et l'Ere secondaire. C'est donc une limite paléogéographique et tectonique importante.

Rappelons enfin, qu'à la fin du Permien, ou Thuringien, se produit une dernière modification géographique. Sur toute l'Angleterre et l'Allemagne du Nord, vient s'étendre une grande mer intérieure, au fond de laquelle se sont déposés des calcaires dolomitiques, faciès fréquents dans les dépôts d'eaux concentrées. C'est la "Mer du Zechstein" des géologues allemands, correspondant à l'étage Thuringien.

Il n'y a pas de Permien marin dans le bassin carbonifère franco-belge, de sorte que l'étage Thuringien s'y trouve confondu à la partie supérieure des nouveaux grès rouges.

Les mouvements hercyniens ayant complètement cessé à partir du Permien moyen, les schistes et grès rouges du Permien supérieur sont généralement discordants, reposant indifféremment sur le Houiller plissé. Ces dépôts, restés horizontaux, marquent le début de la longue période de calme de l'Ere secondaire.

#### 235 - Situation paléogéographique au Secondaire : sédimentation crétacée

Par suite du plissement hercynien, une forte lacune sédimentaire existe entre le terrain houiller, d'âge westphalien, et les terrains crétacés ou tertiaires qui sont ensuite venus se déposer en stratification discordante et sont restés en couches sensiblement horizontales sur le socle primaire du Bassin de Namur aplani par l'érosion.

Pendant le Secondaire, cette région fut, comme l'ensemble régional, une aire continentale. Les seuls dépôts qui ont pu se produire immédiatement après, sur le socle primaire, sont d'origine continentale et très localisés. Ils se sont effectués pendant la majeure partie du Crétacé inférieur : c'est le Wealdien apparenté aux formations analogues du Sud de l'Angleterre (Weald). Il remplit les fentes des formations carbonifères du bassin franco-belge.

Ce n'est qu'au Crétacé supérieur que des mers dépendant du bassin de Paris et de celui de la Mer baltique s'étendront autour du Massif du Brabant et le recouvriront presque entièrement. Cette mer dépose alors, dans le secteur étudié, des marnes crayeuses (Turonien) et de la craie (Sénonien).

D'une façon générale, à part quelques vestiges d'Albien et de Cénomaniens préservés dans quelques creux plus profonds de la Fosse de la Haine et dans le Tournaisis (le "Tourtia" de Tournai), le Crétacé n'est connu en Belgique et en Mélançois que par des formations les plus jeunes.

Les terrains crétacés qui remplissent le bassin de Mons, dans le Hainaut, se poursuivent vers le NW pour apparaître sur la rive gauche de l'Escaut, dans le Tournaisis, et rejoindre

vers l'Ouest le Dôme crayeux du Mëlantois.

#### 236 - Situation paléogéographique au Tertiaire

Après la période de sédimentation crétacée la mer opère un nouveau retrait, et reviendra assez vite au début du Tertiaire pour se retirer une nouvelle fois à la fin de l'Eocène, après avoir déposé le sable landénien et l'argile yprésienne.

Au tertiaire, l'Ardenne et les collines de l'Artois se soulèvent. Les mers régressent vers les bassins de Paris, de Londres et des Pays-Bas. Pendant cette période les rivages se déplacent progressivement vers le Nord (les formations les plus anciennes affleurent au Sud et les plus jeunes au Nord), car la remontée de l'Ardenne et de l'Artois est suivie de celle du Brabant.

Cette émergence a été suivie par une érosion qui a dégagé le calcaire (dans le Tournaisis), et la craie (dans le Mëlantois) en enlevant les sédimentations tertiaires.

Ceci nous amène à la situation actuelle.

#### 24 - Structure actuelle

La structure actuelle du Calcaire carbonifère dans le bassin de Namur est partiellement connue grâce aux travaux des H.B.N.P.C. et aux core-drills pétroliers. (C.F.P.(M); COPESEP, RAP et SNPA - Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France).

Nous tenterons d'abord de replacer cette structure dans son cadre général, puis nous nous intéresserons ensuite à la partie orientale de ce bassin dans le cadre de notre étude.

#### 241 - Bassin de Namur

La zone située entre la faille du Midi et le massif du Brabant peut être logiquement attribuée au Bassin de Namur. Elle peut être divisée en trois grands ensembles (Annexe I).

- une zone à l'Est de l'apophyse strunienne de Merville, où le bassin s'épanouit largement de la faille du Midi au Sud, jusqu'au parallèle d'Halluin au Nord,
- une zone centrale s'étendant vers l'Ouest jusqu'à la faille d'Ardres-Gravelines,
- une zone Ouest correspondant à l'ensemble Boulonnais, bassin de Calais où de nouveau, le bassin de Namur s'élargit très sensiblement.

Le domaine Nord est aussi constitué de 2 grands ensembles qui s'interpénètrent plus ou moins :

- un pays silurien dont l'extension maximale vers le Sud se situe dans la région de Saint-Omer et dont les digitations pénètrent dans le pays dévono-carbonifère (apophyse de Merville et zone silurienne d'Orchies à l'Est, ride de Caffiers-Framezelles, à l'Ouest).

Ce pays silurien n'est en fait, qu'une fraction du Massif du Brabant.

- un pays dévono-carbonifère qui s'épanouit largement à l'Est et à l'Ouest et qui se trouve très rétréci au centre.

Ce pays dévono-carbonifère appartient au bassin de Namur.

Les rides siluriennes, aussi bien celles d'Orchies et de Merville à l'Est, que celle de Caffiers-Framezelles à l'Ouest divisent très nettement le pays dévono-carbonifère en 2 régions de tectoniques différentes : au Nord, dans les bassins de Lille et de Calais, tectonique calme : plis peu accentués, quelques failles ; au Sud par contre, tectonique beaucoup plus accentuée, due à la proximité du chevauchement frontal armoricain - faille du Midi - tectonique que l'on connaît bien dans le bassin houiller et dans le petit bassin d'Hardinghen.

Une coupe synthétique (figure 6) figurant sur la carte des zones stratigraphiques à la cote -300 est représentée ci-après, légèrement modifiée (édition de 1963) pour tenir compte de l'anticlinal silurien d'Orchies.

#### 242 - Structure de la partie orientale française du Bassin de Namur (annexe II)

En allant du Sud vers le Nord on peut y noter les unités tectoniques suivantes :

- faille du Midi et bassin houiller : la carte des zones stratigraphiques à la cote -300 établie en 1963 par les H.B.N.P.C. fournit une structure détaillée de cette région,
- la zone silurienne d'Orchies : cette plage mise en évidence par six core-drills est située dans le prolongement oriental de l'apophyse de Merville et la carte gravimétrique conduit à l'y raccorder.

Toutefois à la différence de cette dernière son flanc nord est probablement faillé.

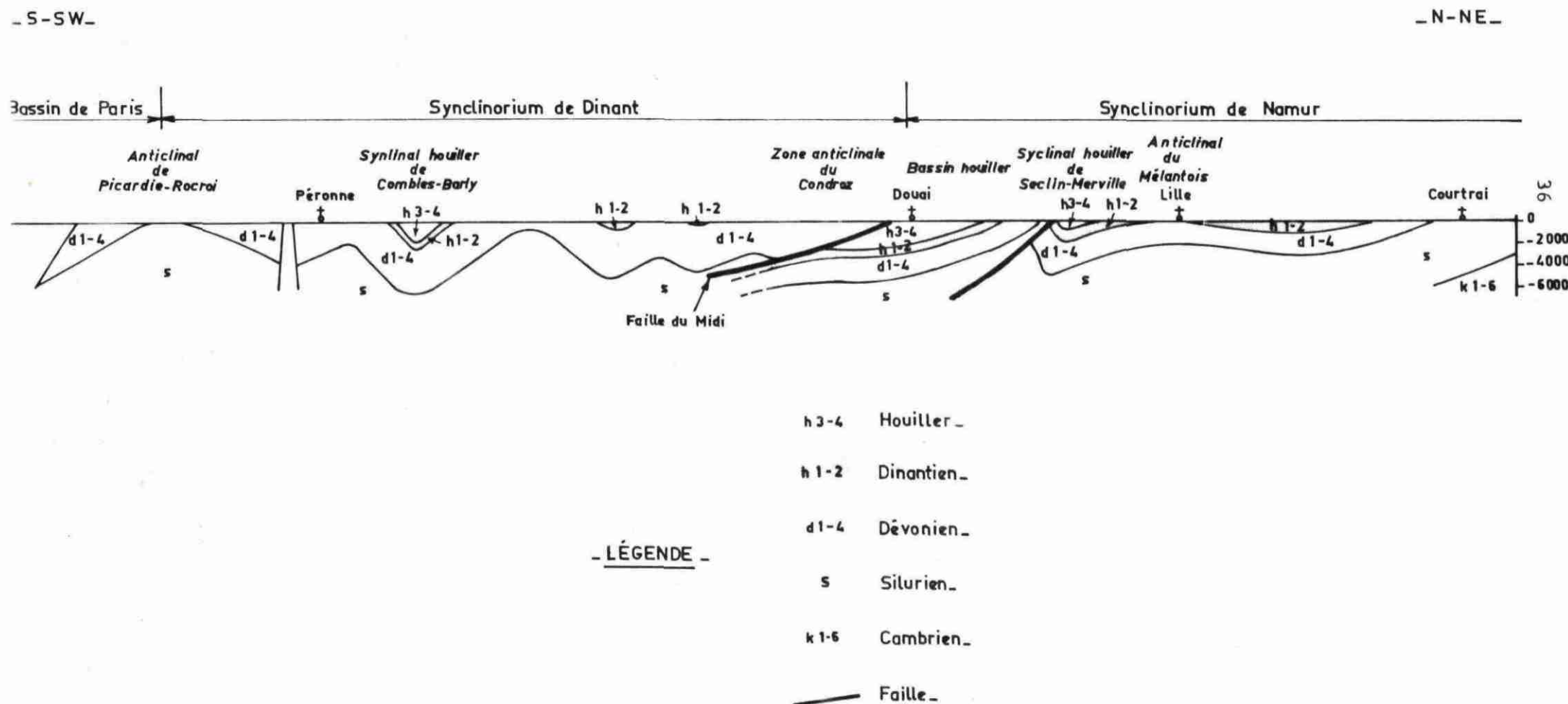
- le bassin de Lille : cette zone paraît constituée d'une série de panneaux faillés, allongés WNW-ESE ou W-E et alternativement effondrés et surélevés.

La bande silurienne est ainsi bordée au Nord par un panneau effondré, puis vient l'anticlinal du Mélandois allongé dans le sens Est-Ouest et dont les bords nord et sud sont probablement faillés. Il a été exploré par le sondage profond ANNAPPES 1.

Au nord du Mélandois, on rencontre à nouveau une zone déprimée (synclinal de Roubaix) avant la remontée générale vers le flanc du Brabant.

Coupe géologique synthétique d'après la coupe structurale  
d'ensemble figurant sur la carte des zones stratigraphiques  
à la cote -300 établie par les H.B.N.P.C. - édition de 1963

*Coupe synthétique S-SW/N-NE*



Le bassin de Lille se prolonge en Belgique dans la région de Tournai et vers l'Est ; l'ensemble de cette zone à tectonique calme faisant l'objet d'importants prélèvements d'eau est étudiée par ailleurs.

La zone silurienne d'Orchies ne se prolonge pas vers l'Est mais il est probable que l'accident qui la borde au Nord se prolonge et sépare le Calcaire carbonifère en deux domaines : l'un à tectonique calme au Nord et l'autre à tectonique accentuée au Sud.

Seule la zone de Calcaire carbonifère à tectonique accentuée au Sud de la bande silurienne ou de l'accident qui la borde au Nord nous intéresse dans le cadre de la présente étude.

Une coupe Nord-Sud (Figure 7) reproduisant la coupe 5 figurant sur la carte des zones stratigraphiques à la cote -300 établie par les H.B.N.P.C. en 1963, permet de mieux visualiser cette tectonique.

Il faut remarquer toutefois que le Calcaire carbonifère, sous le centre du bassin houiller, n'a pratiquement jamais été atteint par sondages, ceux-ci s'arrêtant le plus souvent dans le Namurien.

D'après cette coupe on peut différencier :

- le flanc nord du bassin houiller à tectonique relativement calme avec un pendage de l'ordre de 15 à 20° des couches vers le Sud,
- le flanc sud du bassin houiller renversé et charrié sur le flanc nord, puis recouvert par le Dévonien charrié par la faille du Midi.

Le Calcaire carbonifère, situé sous les terrains crétacés en bordure nord du bassin houiller, s'enfoncerait donc progressivement sous celui-ci vers le Sud jusqu'à environ 1500 m au niveau de Vieux-Condé, remonterait à environ 1200 m au niveau de la faille de Sault avant de s'envoyer plus profondément encore vers le Sud. Des écaillés renversées du Nord sud sont présentes sous la faille du Midi.

#### 243 - Cartes d'isohypses

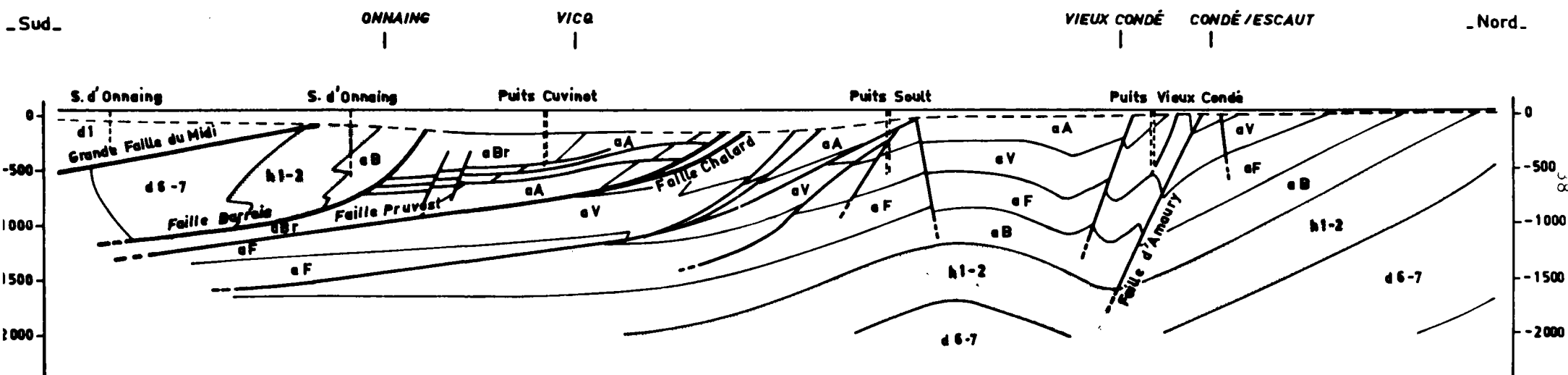
A partir des nombreux sondages effectués dans la région pour la recherche de houille, pétrole ou d'eau et archivés au Service Géologique régional Nord Pas-de-Calais du B.R.G.M. nous avons dressé plusieurs cartes que nous allons commenter ci-après :

##### 2431 - Carte d'isohypses du toit du Primaire sous recouvrement

Le dépouillement des dossiers archivés au titre du code minier a donné lieu à l'établissement de tableaux, où sont détaillées les épaisseurs des différentes formations recouvrant le Primaire, ainsi que la cote de leur toit (ces tableaux peuvent être consultés au S.G.R./N.P.C du B.R.G.M. à Lezennes).

Coupe géologique Nord-Sud à travers le Bassin houiller  
au niveau de Vieux-Condé, reproduite d'après la coupe  
5 figurant sur la carte des zones stratigraphiques à  
la cote -300 établie par les H.B.N.P.C. édition de 1963

Coupe Sud-Nord passant par Vicq



h4	C	aBr	Westphalien	C	Assise de Bruay.
	B	aA		B	Assise d'Anzin.
	A	aV		A	Assise de Vicoigne.
h3		aF	Namurien		Assise de Flines.
		aB			Assise de Bruille.

a1-2	Dinantien.
d6-7	Famennien
d1	Gédinnien.
—	Faille.

- LÉGENDE -

Le report de ces cotes sur plan a permis d'établir différentes cartes dont celle du toit du Primaire.

Cette carte figurant en annexe III, raccordée vers l'Est à la carte fournie par le Service géologique de Belgique, met en évidence le prolongement en France de la fosse de la Haine (Bassin de Mons) vers le Sud-Ouest jusqu'à Raismes, avec cependant un relèvement assez sensible de -300 à -150 m.

On note également en bordure ouest de cette fosse un relèvement brutal du Primaire dans la région de Fresnes, Condé-sur-Escaut.

#### 2432 - Carte d'isohypses du toit du Calcaire carbonifère (annexe IV)

Dans le bassin houiller et sur sa bordure nord, il a paru intéressant de noter la cote du toit du Calcaire carbonifère atteint, soit par les forages d'eau (région de Saint-Amand) ou les sondages houillers.

Lorsqu'il n'a pas été atteint, l'épaisseur de houiller traversé par le sondage a été indiquée s'il était supérieur à 200 m.

L'épaisseur maximale recoupée par un sondage houiller a été de 1141 m.

Etant donné le peu de points disponibles en dehors de la limite nord du bassin houiller nous avons pu à partir de coupes géologiques dressées par le Service géologique des H.B.N.P.C. extrapoler le toit du Calcaire carbonifère sous le bassin houiller jusqu'à la cote -1500 m.

Cette extrapolation est réalisée à partir de l'allure des dernières veines de charbon exploitées, à laquelle on ajoute l'épaisseur des terrains sous-jacents estimée d'après les quelques sondages ayant recoupés ces terrains en bordure nord du bassin.

Les épaisseurs de sédiments étant relativement constantes et la tectonique assez calme sur le flanc nord du bassin houiller, on peut accorder une bonne fiabilité à cette extrapolation.

D'après cette carte, dans la région de Saint-Amand, le pendage du toit du Calcaire carbonifère vers le Sud serait de l'ordre de 15° à 20° (25 à 35 m/100 m).

Il se peut aussi que la dénivellée entre 2 points soit due en partie à une faille, le pendage étant alors plus faible.

Plus au Sud, le toit du Calcaire carbonifère ne s'enfoncerait guère au-delà de 2000 m ; mais la tectonique plus chahutée du bassin minier dans ce secteur rend les extrapolations hasardeuses.

### 3 - HYDROGEOLOGIE

#### 31 - Venues d'eau à température anormalement chaude

##### 311 - Rappel sur le gradient géothermique normal

Le gradient géothermique est l'expression en mètres de l'accroissement de profondeur nécessaire pour obtenir un accroissement de température de un degré celsius.

Le gradient géothermique normal est de 33 m. Il peut cependant varier assez fortement et rapidement en fonction des formations.

Dans le cas présent, considérant que la température moyenne des nappes phréatiques dans la région est de 11° et considérant un accroissement de température de 3° par 100 m, nous avons tracé une droite d'équation  $y = ax + b$  (Figure 8),

avec :  $a = 0,03$

$x$  = profondeur en m

$b = 11^\circ$

$y = t^\circ$  en fonction de la profondeur  $x$

définissant 2 domaines :

- l'un supérieur d'eaux anormalement chaudes
- l'autre inférieur d'eaux anormalement froides.

Les températures relevées sont pratiquement toujours des températures au sol et il est probable qu'un refroidissement de quelques degrés se produit lors de la remontée de l'eau dans le sondage. On a donc des mesures par défaut.

##### 312 - Venues d'eau dans la craie séno-turonienne

Les seules venues d'eau anormalement chaudes connues dans la craie séno-turonienne sont celles de l'Etablissement thermal de Saint-Amand-Les-Eaux.

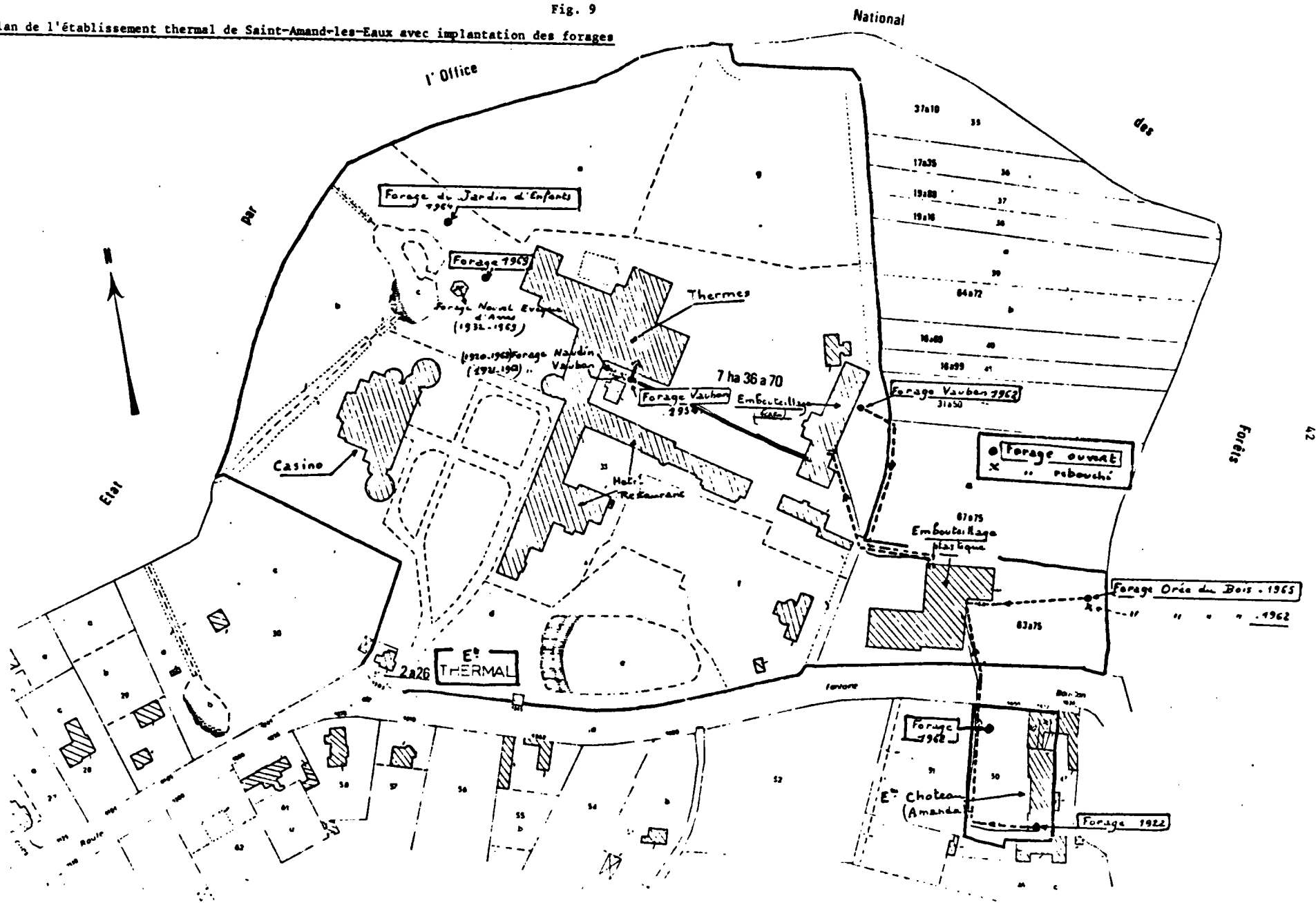
D'après la note géologique de G. WATERLOT et J. RICOUR (1952) concernant la remise en exploitation de l'établissement thermal de Saint-Amand-Les-Eaux, le plus ancien forage de la craie aurait été creusé en 1875 (forage Vauban).

Auraient ensuite été creusés dans sa proximité immédiate, les forages NAUDIN (1920), NOUVEL-EVEQUE D'ARRAS (1932), VAUBAN (1954) - (cf. plan de l'établissement thermal (Figure 9). Ces forages étaient jaillissants (5 l/s en 1911 d'après le Docteur BARROIS pour le forage VAUBAN) et la température de leur eau était de 26° C pour une profondeur moyenne de l'ordre de 30 m.



Fig. 9

Plan de l'établissement thermal de Saint-Amand-les-Eaux avec implantation des forages



Le nouveau forage VAUBAN creusé en 1962 à une centaine de mètres à l'Est et profond de 50 m, fournissait une eau à 20°C.

Les forages de l'Orée de la forêt creusés, en 1962 (profondeur = 27,50 m) et 1965 (profondeur = 31,50 m) à 150 m à l'Est-Sud-Est du 1er groupe, étaient artésiens et fournissaient une eau respectivement à 12,6°C et 13,0°C.

Ces eaux sont chargées en sulfates qui ne peuvent provenir de la craie ; il faut donc admettre une remontée d'eau en provenance d'un réservoir plus profond lui ayant permis d'acquérir à la fois son chimisme et sa température.

La température de 26°C, correspond, pour un gradient géothermique normal à une profondeur de 510 m. Mais comme se produit une perte de chaleur au contact des terrains de plus en plus froids au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface, il faut rechercher l'origine de ces eaux encore plus profondément. Par ailleurs, la zone à eau chaude dans la craie apparaît très restreinte, la température décroissant de 26°C au forage VAUBAN ancien à 20°C du forage VAUBANT 1962 (à 100 m) et 13°C au forage de l'Orée du bois (à 150 m). Il faudrait donc admettre que la remontée d'eau profonde se fait par l'intermédiaire d'une zone privilégiée traversant entre autre les marnes du Turonien moyen et inférieur.

Avant même leur captage par des forages à la craie, ces eaux traversaient l'Argile de Louvil et étaient recueillies par des ouvrages superficiels (profondeur = 3 m) en maçonnerie, telle la "Fontaine Bouillon" et "Evêque d'Arras". La fontaine Bouillon débitait en 1881 environ 1 m<sup>3</sup>/h d'une eau sulfureuse.

### 313 - Venues d'eau dans le Namurien (annexe V)

Le Namurien, comme nous l'avons vu au paragraphe 214, repose sous le terrain houiller productif et sur le Calcaire carbonifère ; lors de sondages de reconnaissance pour recherche de houille, des venues d'eau se sont souvent produites dans ces terrains. Nous allons les examiner successivement et essayer d'en analyser la provenance. Nous ne possédons pas toujours de mesures de température.

#### - Sondage n° 42 de Blaton

Ce sondage, situé en Belgique et décrit par J. CHALARD, est implanté à 1460 m à l'Est de la frontière française et 1200 m au Sud du bois de Bonsecours (altitude +29 m). Il a recoupé une venue d'eau jaillissante dans un banc de quartzite gris-noir, très dur entre 118,43 m et 120,30 m de profondeur.

Corrélié avec les sondages français dits de la Douane\* et du Château\*\*, ce niveau de quartzite correspondrait aux quartzites de la Grange situées environ 80 m au-dessus de la veine Saint-Georges (cf. figure 10 extraite de la contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Nord de la France par J. CHALARD).

Un autre niveau de quartzites dit "Grès de Suchemont", situé 40 à 50 m sous la veine Saint-Georges a été recoupé par 5 sondages exécutés à partir du fond de la fosse Ledoux (à une cote -384 m NGF) et a fourni de l'eau jaillissante (figure 11 et tableau III ci-après).

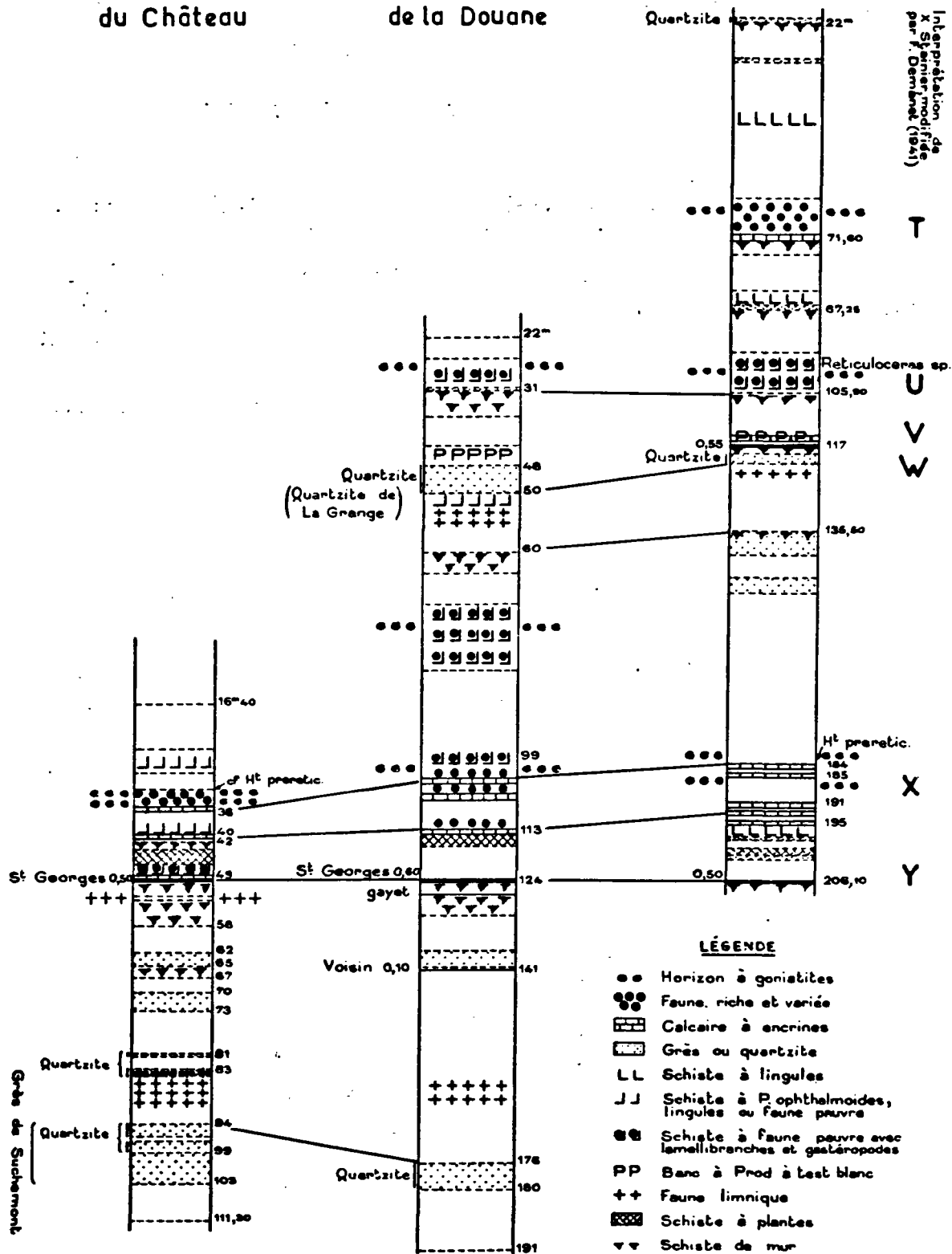
	Profondeur	Débit en m <sup>3</sup> /h	Pression en kg /cm <sup>2</sup>	Observations
Sondage n°1 (cote -385)	13,20 23,40	? 0,7		Venue d'eau
Sondage n°2 (cote -385)	14,20 à 20,90 28,00 29,10	? 0,4 5,4	8	Venue d'eau  Pression descendue ensuite à 4 kg par fuites à travers les fissures du terrain
Sondage n°3 cote -384,3	20,00 25,00 42,00 47,00 48,55 51,45 52,00	0,7 0,9  1,5 4,3 7,2 8,6	12 10,5  14	Pression descendue ensuite à 11 kg par fuites à travers les fissures du terrain à 12 m au nord du sondage
Sondage n°4 (cote - 293)	15,00 à 18,00 33,00 à 38,00 50,00	0,9 3 4,5	7 12 12	
Sondage n°5 (cote -384)	2,00 à 14,00 14,00 à 25,00 29,60 39,50 42,00 43,60	? ? 4,4 6,8 12,8 16,8	5  18	Faible venue d'eau. La venue d'eau augmente. Fuites à travers les terrains et autour des tiges pendant la mesures de pression

Tableau III : Débits et pression mesurés dans les sondages du fond à la fosse LEDOUX (d'après J. CHALARD)

\* (indice national 22-5-37)

\*\* (indice national 22-5-36)

# Sondage N° 42 de Blaton



**Fig. 10 — Coupes stratigraphiques comparées des sondages 190, 191 et 42 de Blaton.**  
Échelle 1/1000.

(extrait de la thèse de J. CHALARD).



Pour le sondage du château (creusé en 1951) J. CHALARD publie d'ailleurs un document, que nous reproduisons ci-après, sur les particularités hydrologiques du Grès de Suchemont dans la région de Ledoux-Bonsecours.

"Le Grès de Suchemont et le banc de quartzite voisin s'étaient révélés très cassurés et très aquifères dans les sondages intérieurs n°3 et n°5 à l'étage 418 de la fosse Ledoux (cote de l'orifice - 384 environ), et dans le sondage n°4 à l'étage 322 (cote de l'orifice - 293 environ) - (figure 11).

Dans le sondage 190 le Grès de Suchemont a été traversé vers la cote -70. Là il est également très cassuré mais il n'est pas aquifère, au contraire il est vide et il absorbe l'eau. De nombreuses pertes d'eau ont été constatées au cours de l'exécution du sondage, et spécialement à ce niveau, pertes d'eau auxquelles il a fallu remédier par des cimentations. En particulier à un moment où le trou avait atteint 125 m de profondeur il s'était vidé presque entièrement (jusqu'à 112 m). On peut en conclure à l'existence, dans le Grès de Suchemont et dans les terrains environnants, d'un réseau de cassures ouvertes et vides d'eau au moins jusqu'à 112 m de profondeur.

Ce fait a encore été confirmé par un incident survenu après l'arrêt du sondage au moment de l'enlèvement des tubages. Le fond du sondage avait atteint le Calcaire carbonifère ou, au moins, des formations de phanites fissurés qui en sont voisines et en communication hydrologique avec lui. Le niveau de l'eau au repos dans le sondage, représentant le niveau de la nappe du Calcaire carbonifère, s'était établi à environ 1 m sous le niveau du sol. Toute la partie supérieure du sondage, comprenant le Grès de Suchemont, était alors isolée par un tubage.

Au moment de l'enlèvement du tubage le niveau de l'eau est redescendu dans le trou de sonde aux environs de 100 m, position du Grès de Suchemont, et s'y est fixé. Il est probable que la nappe du Calcaire carbonifère débitait alors dans les fissures du Grès de Suchemont, créant dans le sondage un courant d'eau ascendant du Calcaire vers le grès ; on constatait en effet que le lait de ciment qui avait été placé dans le fond du trou pour en assurer le bouchage avait disparu sans laisser de traces, entraîné sans doute par le courant d'eau dans les fissures du Grès de Suchemont.

On fit alors une nouvelle cimentation de la base du trou ; on prenait soin en même temps de maintenir le niveau de l'eau dans le trou de sonde au niveau du sol en déversant constamment de l'eau dans le sondage, pour compenser l'eau qui s'infiltrait dans le Grès de Suchemont, et empêcher ainsi l'établissement d'un courant d'eau ascendant dans la partie inférieure du trou. La quantité d'eau nécessaire fut d'ailleurs minime ; sans doute le ciment entraîné lors de la première opération dans les fissures du grès avait-il contribué à les colmater. Toujours est-il que cette fois la cimentation fut efficace et qu'un bouchon de ciment de plus de 150 m, réalisé d'ailleurs en plusieurs fois, isola complètement le Calcaire carbonifère du Grès de Suchemont. Par la suite le trou fut rempli complètement de ciment sans autre difficulté.

L'incident confirme que dans la partie supérieure du terrain houiller de la région de Bonsecours, le Grès de Suchemont n'est pas aquifère : il est fissuré mais les fissures sont vides. Ce vide doit être attribué à l'abaissement du niveau d'eau dans le grès par les travaux de Saint-Georges à la fosse Ledoux".

- Fosse Lagrange (Raismes) : dans la bowette nord à l'étage 325 (= -300 m NGF) deux niveaux de grès aquifères ont été rencontrés : le 1er niveau débitait environ 10 m<sup>3</sup>/h d'une eau chargée en chlorures (1,98 g/l de NaCl).

Le second niveau correspondant aux quartzites de la grande débitait 25 à 30 m<sup>3</sup>/h d'une eau un peu moins chlorurée (1,462 g/l de NaCl).

J. CHALARD cite :

"Les venues d'eau de la bowette 325 vers Saint-Georges, dont la somme avait atteint 90 m<sup>3</sup>/heure au moment du creusement, ont diminué depuis d'année en année, et en 1958 elles sont réduites à 15 m<sup>3</sup>/h au maximum. Ce tarissement, ainsi que la présence de chlorures, montre qu'il s'agit d'eaux fossiles emmagasinées dans les vides des bancs de grès qui ne sont pas normalement alimentés. En particulier elles ne sont pas en relations avec les nappes aquifères de la craie ou du Calcaire carbonifère".

Ces grès se situent environ 340 m au-dessus du Calcaire carbonifère.

L'inventaire des sondages, la plupart pour recherche de houille, archivés au S.G.R./N.P.C. nous a permis de répertorier d'autres venues d'eau que nous citerons dans l'ordre de leur indice national :

- 21-5-79 à Marchiennes et 21-5-82 ont donné de l'eau jaillissante,
- 21-6-28 à Wallers qui après arrêt du sondage, ayant pénétré de 26 m dans le houiller a donné un "jet d'eau",
- 21-7-35 à Saint-Amand à 300 m au Sud de l'établissement thermal, à 76 m de profondeur, a fourni un débit de 53 m<sup>3</sup>/h avec une pression de 6 m (NS = +25 m NGF) d'une eau à 12°C au sol,
- 21-7-46 à Bruille - Saint-Amand : la fosse 3 a dû épuiser l'eau pour exploiter la houille,
- 21-7-48 à Bruille - Saint-Amand a donné de l'eau jaillissante à 87 m de profondeur dans le houiller stérile,
- 21-7-49 à Bruille - Saint-Amand a donné un peu d'eau jaillissante dans les grès houillers,
- 21-7-50 à Saint-Amand a donné une jaillissante à 30° avec une pression de 3 m (NP = +24,50 m NGF) dans le houiller à 66 m de profondeur,
- 21-8-45 à Odomez : venue d'eau dans le houiller.

Lorsque l'on reporte ces venues d'eau sur une carte où sont délimitées le contact namurien-dinantien sous les terrains de recouvrement et à la cote -300 m NGF on s'aperçoit que la plupart de ces venues sont localisées dans cette zone.

Les autres sont situées dans des zones où le Namurien est très étendu (voir figure 12) et proviennent vraisemblablement d'autres bancs gréseux de cet étage, qui peuvent être en communication ou non avec le Calcaire carbonifère.

La plupart de ces venues sont artésiennes ; on peut donc difficilement admettre comme le proposait J. CHALARD une alimentation par "*lente percolation de la nappe d'eau du crétacé à travers les morts-terrains*". De plus la température relevée sur l'un d'eux (30°) correspond à une profondeur de 640 m selon le degré géothermique normal.

Il faudrait donc plutôt admettre dans certains secteurs une alimentation par la nappe sous-jacente du Calcaire carbonifère à la faveur de zones accidentées.

#### 314 - Venues d'eau dans le Calcaire carbonifère (Annexe V)

Ces venues d'eau se sont manifestées le plus souvent lors de travaux de recherche d'eau. Nous les examinerons dans un ordre chronologique :

- en 1931, les établissements Devaux, à Saint-Amand, ont fait réaliser un forage (indice national 21-7-102), profond de 121,80 m recoupant le Calcaire carbonifère de 77,45 m à 121,80 m et qui aurait débité 400 m<sup>3</sup>/h.

D'après la colonne encore en place actuellement sur le forage, son niveau statique devait se situer vers la cote +27 m environ. Cette eau était à une température de 17,3°C,

- le forage du jardin d'enfants (indice national 21-7-122) réalisé en 1964 à l'établissement thermal de Saint-Amand-Les-Eaux a traversé le Calcaire carbonifère de 62,00 à 150 m de profondeur et a donné un débit artésien de 11,7 m<sup>3</sup>/h d'une eau à 23,4°C. Le niveau piézométrique s'établissait à +26,45 mNGF en fin de forage ; alors qu'à 120 m de profondeur, il n'était qu'à +25,58 m NGF.

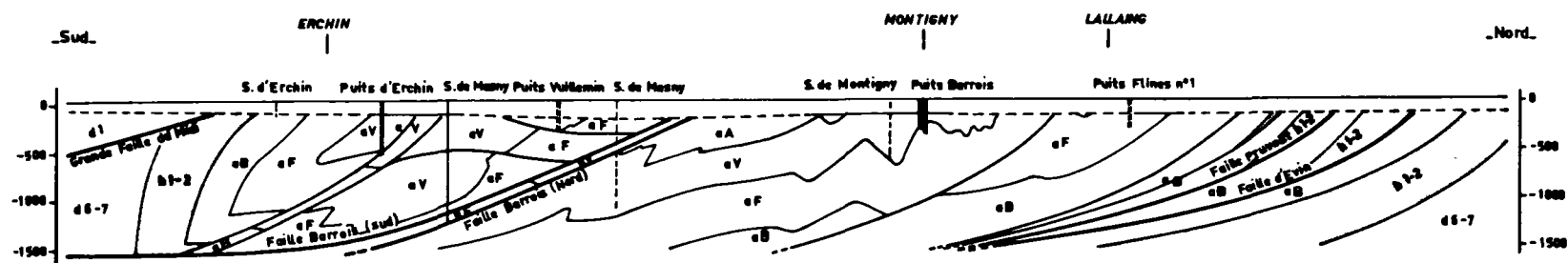
Le niveau capté appartiendrait au Viséen supérieur qui semble fissuré sur toute sa hauteur.

Le forage Vauban 1954, exécuté en 1954 à une centaine de mètres à l'Est et poursuivi dans le Calcaire carbonifère de 62 à 84 m n'avait rencontré que du calcaire compact et non aquifère.

- en 1974, la société de la source du Clos de l'Abbaye qui possédait un forage de 120 m de profondeur, datant de 1837, dont la coupe géologique était inconnue et qui ne débitait plus que faiblement a fait fonder un nouveau forage à une centaine de mètres de l'ancien (indice national 21-7-178) ; lors du creusement un léger artésianisme s'est manifesté à 81 m de profondeur (le contact marnes/Calcaire carbonifère est à 81,25 m). Le forage a été poursuivi jusqu'à 89 m dans un calcaire apparemment altéré puisque avec passages tendres et remplis d'argile brune. Un essai de tubage de cet horizon s'est révélé infructueux et lors de la remontée du tube, une éruption d'eau soudaine s'est manifestée.

Fig. 12

Coupe géologique Nord-Sud à travers le Bassin houiller au niveau de Lallaing,  
reproduite d'après la coupe 4 figurant sur la carte des zones stratigraphiques  
à la note -400 établie par les H.B.N.P.C. - édition de 1963



LÉGENDE

h4	{ B    eA A    eV	Westphalien	{ B A	Assise d'Anzin.
				Assise de Vicoigne.
h3	{ eF eB	Namurien	{     	Assise de Flines.
				Assise de Bruille.
h1-2		Dinantien.		
d6-7		Famennien		
d1		Gédinnien.		
—		Faille.		

Coupe Sud-Nord passant par Montigny

Le débit a été estimé à plus de 1000 m<sup>3</sup>/h avec entraînement de blocs de marne et de calcaire.

Le forage a été momentanément obstrué par une plaque soudée sur les bords de la colonne de 450 mm puis une colonne de Ø 300 mm a été descendue jusqu'à 81 m, prolongée par une colonne de Ø 200 mm jusqu'à 87 m. Une vanne a été placée sur la tête du forage afin de tester le captage.

Vanne fermée, la pression était de 1,3 bar/sol, ce qui donne un niveau piézométrique de + 29 m NGF (altitude au sol + 16 m NGF).

Cette eau est à la température de 18°C.

Nous citerons pour mémoire le forage du S.I.D.E.N. à Maulde (indice national 21-3-2) situé à une dizaine de kilomètres au nord de Saint-Amand dont le niveau piézométrique se situe à la cote + 12 m NGF environ.

On constate donc dans la région de Saint-Amand la présence :

- de venues d'eau à fort débit et forte pression (NP: + 29 m NGF à la source du Clos) et température légèrement plus élevée que la normale (18°C),
- de venues d'eau à faible débit et pression un peu moins élevée (NP: + 26 m NGF au forage du jardin d'enfants à l'établissement thermal) et à température plus élevée (23,4°C) mais toutefois inférieure à celle mesurée dans la craie au forage Vauban (26°C).

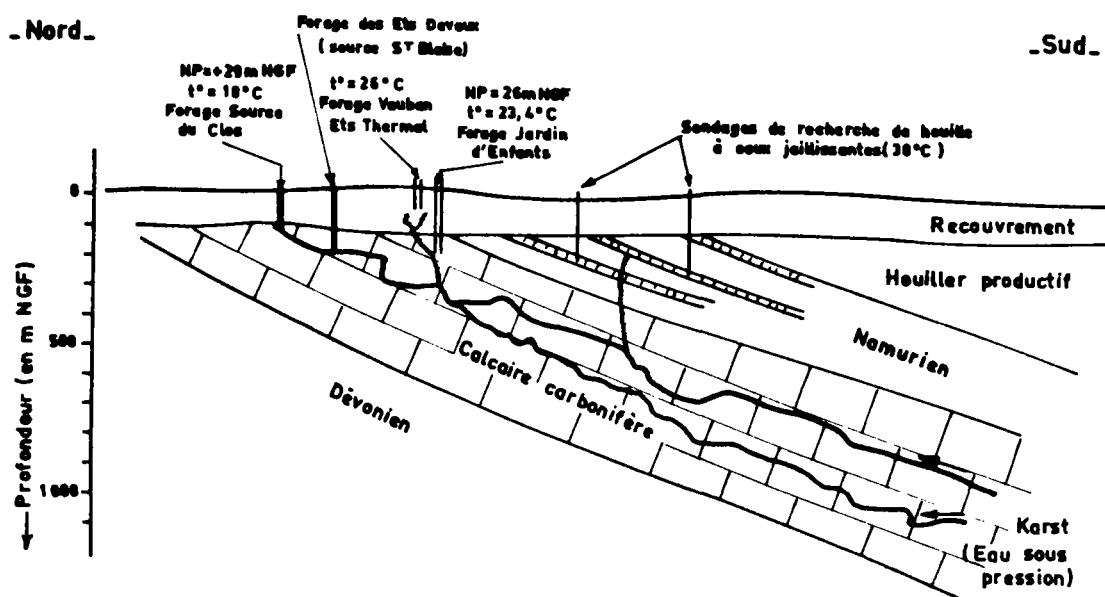
Ces différentes observations suggèrent l'hypothèse qu'il pourrait exister dans le Calcaire carbonifère, sous le bassin houiller un karst venant affleurer sous le recouvrement crétacé au niveau des forages des Etablissements Devaux et de la source du Clos. A partir de ce karst, des remontées d'eau se produiraient à la faveur d'accidents situés plus au Sud, et donneraient une eau plus chaude car d'origine plus profonde (cf. schéma ci-après - figure 13) :

La pression existante serait à rechercher vers l'est où le Calcaire carbonifère affleure en Belgique à des altitudes plus élevées.

D'autre part ce Calcaire carbonifère ou du moins le karst qui le parcourt ne serait pas en communication avec le réseau aquifère du Calcaire carbonifère situé plus au Nord dans la région de Lille-Tournai-Peruwelz : la cote de l'eau dans le forage de Maulde en est d'ailleurs une confirmation.

Cette séparation pourrait d'ailleurs être due à l'accident longeant le bord nord de l'anticlinal silurien d'Orchies ou à une érosion du niveau karstifié vers le Nord puisque la partie supérieure (h2c = Assise de Bioul et Warnant) et moyenne (h2b = Assise de Namèche) du Viséen n'existe qu'au Sud du Tournaisis sous le terrain houiller. Elle n'intervient pas dans l'hydrologie du Tournaisis.

FIGURE 13 : Schéma du karst du Carbonifère et des venues d'eau chaude

315 - Géothermomètres chimiques

L'utilisation des caractéristiques chimiques des eaux pour estimer des températures en profondeur a été proposée par différents auteurs (D.E. WAITE 1965, R.O. FOURNIER et J.J. ROWE 1966, A.J. ELLIS 1970, R.O. FOURNIER et A.H. TRUESDELL 1973, C. FOUILLAC et G. MICHARD 1979). Cette évolution de la température profonde est faite à partir de la mesure de la teneur en certains cations (Si, Na, K, Li) de l'eau à l'émergence. Si l'application des géothermomètres à Silice, à Na/K, à Na/K-Ca et à Na/Li convient degrés divers pour l'estimation des températures profondes des eaux circulant dans les terrains cristallins; leur emploi dans les eaux circulant dans les terrains sédimentaires ne peut être envisagé que pour certains d'entre-eux.

Dans le cas des eaux chaudes en milieu sédimentaire, le géothermomètre à rapport Na/K qui suppose l'équilibre de l'eau avec les féldspaths sodiques et potassiques ne peut convenir car ces minéraux ne sont pas présents dans des roches sédimentaires.

Le géothermomètre Na/K.Ca qui est complémentaire du précédent ne peut être utilisé. Par contre, nous pouvons utiliser le géothermomètre à rapport Na/Li car selon C. FOUILLAC et G. MICHARD (1979) "il ne semble pas que le sodium et le lithium puissent être effectivement contrôlés par un équilibre avec les minéraux". Ce nouveau géothermomètre Na/Li donne les résultats suivants par application de la formule  $t = \frac{1000}{0,38 + \text{LogNa/Li}} - 273$  (tableau IV).

Forage	Teneur en Na <sup>+</sup> mole/l	Teneur en Li mole/l	Na/Li	Log Na/Li	T en °K	T en °C	T en °C émergence
Source du Clos 21-7-178	1,2832	0,0072	178,1	2,25	380	107	19
Forage du jardin d'enfants 21-7-122	1,9617	0,108	181,6	2,26	379	106	17
Source Saint- Blaise 21-7-102	1,4006	0,0081	172,9	2,23	381	108	22
Forage Nouvel Evêque d'Arras 21-7-4	2,009	0,0101	198,9	2,30	373	100	26
Douvrain	2,44	0,0133	183,4	2,26	378	105	67,5

**Tableau IV** : Détermination des températures des eaux de quelques forages par le géothermomètre Na/Li.

Nous remarquons qu'au sondage de Douvrain la température de l'eau mesurée en surface (67°5) est comparable à l'indication thermométrique donnée par le rapport Na/Li, compte-tenu de son imprécision de l'ordre de 20 à 25° (C. FOUILLAC et G. MICHARD, 1979). Pour les autres sources, la différence entre la température en profondeur et la température à l'émergence serait due à une perte de chaleur par conduction et à un mélange avec des eaux froides superficielles.

### Le géothermomètre à silice

La silice est présente dans toutes les eaux analysées à des teneurs sensiblement identiques que ce soit pour les eaux chaudes du Calcaire carbonifère ou les eaux froides de la craie. Si à première vue, la solubilité de cet élément ne semble pas régie par la température de l'eau, une explication peut être donnée par le fait que pour une certaine concentration en silice, on peut avoir une température de solubilité nettement différente suivant la variété considérée (cf. courbe figure 14).

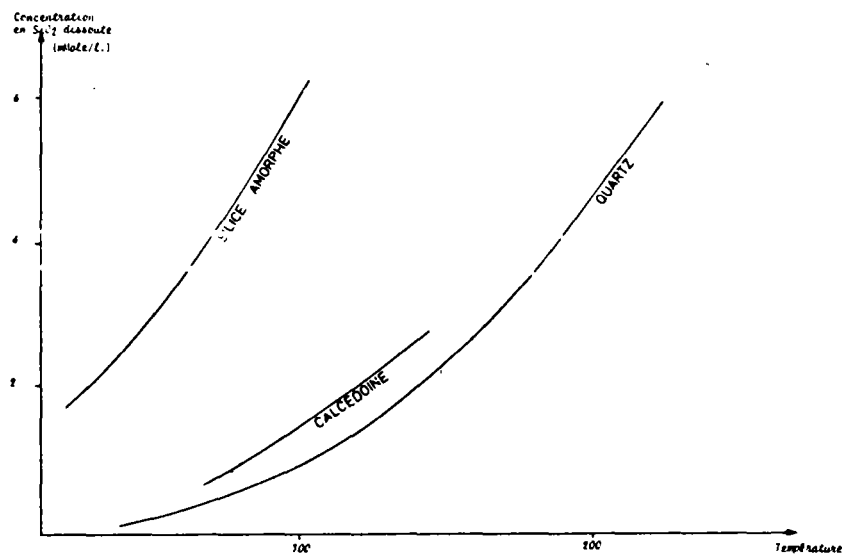


FIG. 14— Solubilité des diverses variétés de silice en fonction de la température

Ainsi, on sait que dans la craie, la silice est uniquement sous forme amorphe (silex). Par contre, on peut penser que dans les Calcaires carbonifères, la silice est principalement sous forme de quartz. En supposant l'équilibre de l'eau atteint avec ce minéral, la température peut s'exprimer ainsi :

$$t = \frac{1322}{0,435 - \log \text{SiO}_2} - 273 \text{ (FOURNIER et ROWE, 1966).}$$

ce qui donne les résultats suivants :

	Teneur en $\text{SiO}_2$ (mg/l)	Silice ( $10^{-3}$ Moles/l)	log C	T°C
Source du Clos	21,5	0,3578	-3,4464	68°
Forage jardin d'enfants	26,0	0,4327	-3,3638	75°
Source Ste-Blaise	22,0	0,3661	-3,4364	68°
Nouvel Evêque d'Arras	27,5	0,4576	-3,3395	77°
Douvrain	60	1,0	-3,000	112°
St-Ghislain	42,7	0,7106	-3,1484	96°

TABLEAU V : Températures de gisement des eaux de St-Amand - Douvrain - St-Ghislain, d'après le géothermomètre à quartz.

Ces nouvelles indications thermométriques recoupent celles données par le rapport Na/Li. Ce sont les forages situés en Belgique qui indiquent des températures du réservoir profond les plus élevées. De plus, les écarts de températures donnés par le géothermomètre à quartz correspondent à celles mesurées à l'émergence dans la région, à l'exception du sondage de St-Ghislain où il y aurait mélange avec des eaux plus froides.

A partir de ces données, on peut estimer dans la région de Saint-Amand, la température du réservoir profond oscillant entre 65 et 75°, ce qui pour un gradient géothermique normal de 3° par 100 mètres, donnerait une profondeur du réservoir de l'ordre de 2.000 mètres. Cette indication est concordante avec les données géologiques des H.B.N.P.C. (cf. figure 7).

### 32 - Les puits naturels et le karst du Calcaire carbonifère

De nombreux puits naturels ont été découverts dans le terrain houiller du Nord de la France et en Belgique et ont été décrits par DEHEE, PRUVOST, RENIER, SINEYSTERS, STAISNIER, etc... Les "puits naturels" sont des perforations verticales ou obliques de forme variable ; ils sont remplis de débris provenant des terrains encaissants, débris fréquemment mélangés à des matériaux provenant des morts-terrains. Leur localisation est indiquée sur la carte de la figure 15.

A partir de ces observations, du chimisme des eaux du Calcaire carbonifère et de la solubilité du gaz carbonique dans l'eau, A. VANDENBERGHE émet une hypothèse selon laquelle ces puits naturels secs seraient le témoignage de l'existence d'un paléokarst sec sous le bassin houiller par opposition à un karst avec puits naturels aquifères au Nord du bassin houiller.

Nous reproduisons ci-après le développement de son hypothèse et ses conclusions :  
(Extraits des Ann. Soc. Géol. Nord, tome LXXX, P. 147).

"L'origine karstique de ces puits semble maintenant bien établie : l'éboulement dans le Calcaire carbonifère sous-jacent d'une cavité souterraine se repercute vers le haut dans le terrain houiller et ne s'arrête que lorsque le foisonnement des éboulis a pu compenser le volume du vide initial. Nous remarquerons cependant que ces puits naturels bien que recoupés par des travaux miniers à des profondeurs souvent considérables, ne livrent pas passage à l'eau sous pression qui pourrait normalement s'y trouver. Nous sommes donc amenés à conclure que le karst sous-jacent est sec.

Conclusion : nous pouvons déduire de toutes ces observations qu'il existe dans le Calcaire carbonifère deux réseaux karstiques, l'un asséché, l'autre aquifère et alimenté par les affleurements. Ces deux réseaux peuvent être extrêmement voisins, mais ils ne communiquent pas entre eux. Nous verrons plus loin la nature de l'obstacle qui les sépare.

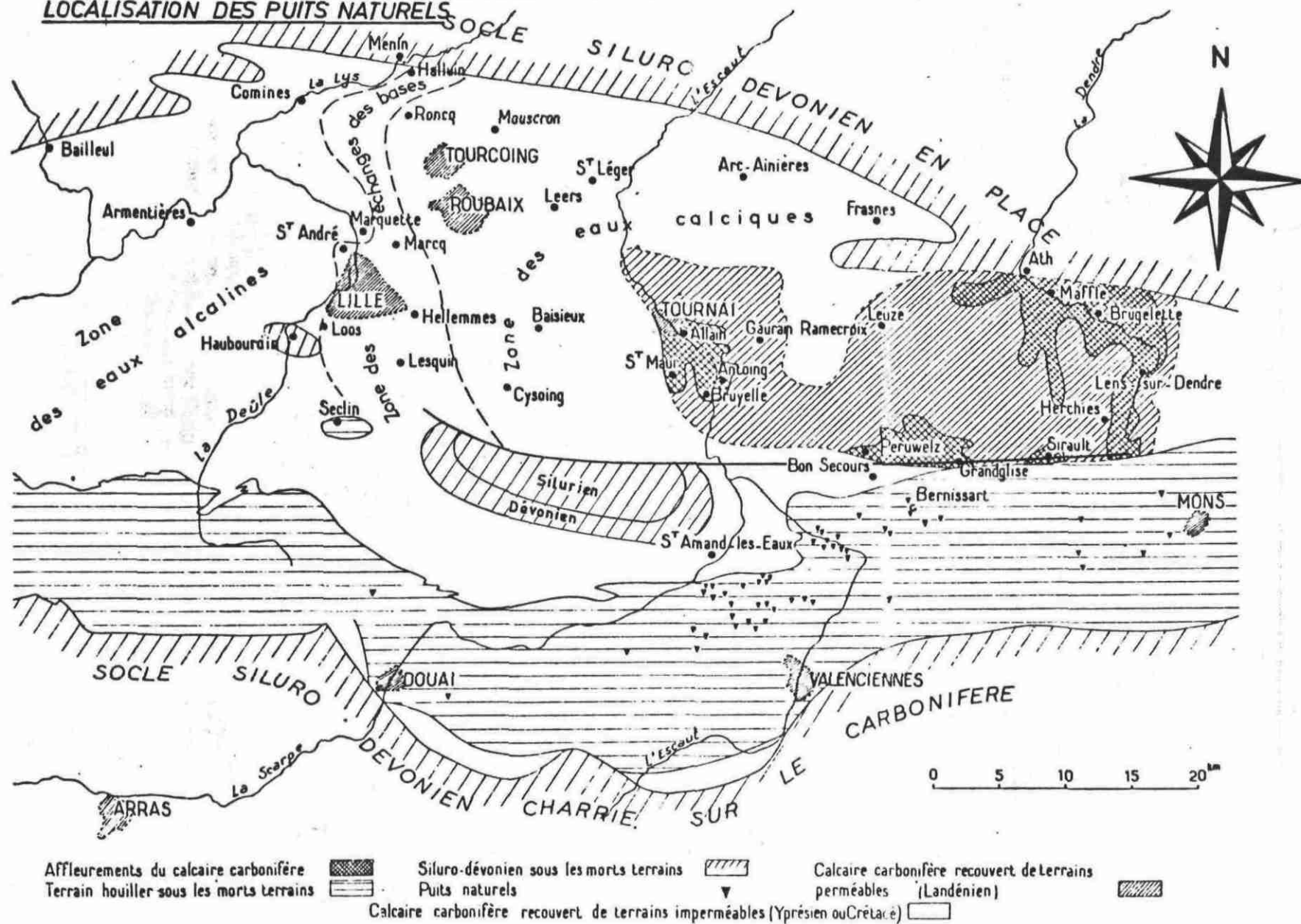
#### Chimisme des eaux du Calcaire carbonifère

Les variations dans la composition chimique des ces eaux ont fait l'objet d'une récente étude (G. WATERLOT). Il a été démontré qu'en s'éloignant des affleurements, les eaux subissent des modifications qui permettent de définir quatre zones :

1°) - dans une première zone, les eaux météoriques riches en  $\text{CO}_2$  s'infiltrant en dissolvant sous forme de bicarbonates, les carbonates de calcium et de magnésium, et donnent des eaux peu minéralisées de type bicarbonaté calcique et magnésien ;

2°) - dans une deuxième zone, où la nappe est captive, la minéralisation augmente, et l'on voit apparaître les cations sodium et potassium accompagnés des anions chlorure et sulfate dont G. WATERLOT attribue l'origine à des interactions avec des eaux marines fossiles qui peuvent être d'âge dinantien où même secondaire. Les eaux sont cependant tou-

**Fig.15** LES EAUX DU CALCAIRE CARBONIFERE DANS LE NORD DE LA FRANCE (d'après G. Waterlot, A. Vandenberghe)  
**LOCALISATION DES PUIXS NATURELS**



jours à dominante du type bicarbonaté calcique et magnésien ;

3°) - la troisième zone se caractérise par les "échanges de bases". Les concentrations en calcium et magnésium diminuent tandis que les teneurs en chlorures et sulfates de sodium et de potassium s'accroissent. Les eaux sont maintenant du type sulfaté chloruré bicarbonaté alcalin ;

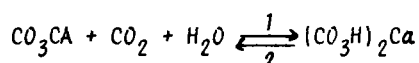
4°) - dans la quatrième zone, les mêmes réactions se poursuivent et donnent naissance à des eaux du type chloruré et sulfaté sodique.

#### Notion de limite de karstification

L'évolution du chimisme des eaux telle que l'a établie G. WATERLOT appelle quelques remarques :

La solubilité d'un sel dans l'eau peut varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment de la température et de la présence d'autres sels.

Par ailleurs, dans le cas particulier qui nous intéresse, celui du carbonate de calcium, il y a lieu de tenir compte du fait que, ce sel étant très peu soluble, sa mise en solution n'existe pratiquement que sous la forme de carbonate acide, improprement appelé bicarbonate. Ce bicarbonate se forme selon la réaction :



Cette réaction étant réversible, elle obéit à la loi d'action de masse. Pour une eau circulant dans un calcaire, nous pouvons considérer les quantités de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  et de  $\text{H}_2\text{O}$  comme pratiquement illimitées. Seule intervient la quantité de  $\text{CO}_2$  susceptible de réagir, c'est-à-dire de  $\text{CO}_2$  en solution dans l'eau. Si ce gaz est excédentaire, il y a transformation de carbonate en bicarbonate (réaction 1), donc dissolution ; par contre, si ce gaz est déficitaire, le bicarbonate se transforme en carbonate (réaction 2) et il y a précipitation. Le problème qui nous préoccupe se ramène donc à connaître la solubilité du  $\text{CO}_2$  dans l'eau en fonction des conditions extérieures (cf. tableau VI ci-dessous) :

p CO <sub>2</sub> (Atm) t° (degrés C)	Solubilité du CO <sub>2</sub> dans l'eau en fonction de la température et de la pression														
	1	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	150
0	1,713	8,8	16,3												
5	1,424	7,3	12,8	16,9											
10	1,194	6,8	10,1	13,9	16,5										
15	1,019	4,4	8,5	12,1	15,0	17,0									
20	0,878	3,65	7,1	10,1	12,5	16,3	18,2	22,0	25,7						
30	0,665	2,8	5,7	8,3	10,5	12,5									
35	0,592	2,6	5,2	7,0	8,5	9,8	10,6	14,2	18,0	21,7					
60	0,359							8,5	10,2	12,1	14,2	16,3	18,8	21,4	
100	0,260										6,6	7,4	8,5	9,7	15,1

Tableau VI : Stabilité du CO<sub>2</sub> dans l'eau en fonction de la température et de la pression

### Solubilité du $\text{CO}_2$ dans l'eau pure

La solubilité dans l'eau pure de l'anhydride carbonique varie en fonction de la température et de la pression partielle de  $\text{CO}_2$ , comme le montrent les courbes de la figure 16 et le tableau de la page précédente (KOPPERS). La solubilité de ce gaz est inférieure, lors d'un accroissement de pression, à celle que nous donnerait l'application pure et simple de la loi de Henry qui voudrait que la solubilité d'un gaz dans un liquide soit directement proportionnelle à la pression partielle exercée par ce gaz sur la surface du liquide. En réalité, dans le cas du  $\text{CO}_2$ , un facteur de réduction  $K$ , dont la valeur varie en fonction de la pression, doit intervenir :

$p\text{CO}_2$ à $20^\circ\text{C}$ (atm.)	2	4	6	8	10	12
$K$	0,97	0,925	0,895	0,875	0,860	0,845

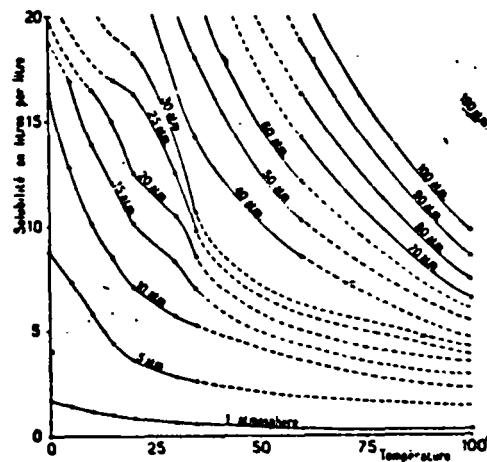


FIG. 16 — Variations de la solubilité du gaz carbonique dans l'eau pure, en fonction de la température, pour différentes pressions.

A température constante et à partir d'une solubilité connue pour une pression donnée, la solubilité peut être calculée pour une pression quelconque en multipliant la solubilité connue par le rapport des pressions affecté d'un facteur de réduction constitué par le rapport des valeurs de  $K$  pour les pressions considérées.

Rappelons encore que les valeurs données pour cette solubilité ne représentent que des limites de saturation vers lesquelles tend la solution de  $\text{CO}_2$  dans l'eau lorsqu'elle est placée dans les conditions de température et de pression considérées ; il faut cependant remarquer que la vitesse avec laquelle l'équilibre est atteint varie considérablement suivant que sera modifiée, soit la température, soit la pression (PASCAL). Ceci signifie qu'une variation de température, sera assez rapidement suivie d'une absorption ou d'une désorption de gaz, tandis que pour un changement de pression qui devrait théoriquement aboutir au même résultat, la vitesse d'absorption ou de désorption sera beaucoup moins élevée.

Par conséquent, si nous considérons la solubilité de  $\text{CO}_2$  dans une eau pure soumise à des températures et à des pressions croissantes - et c'est le cas d'une pénétrant dans l'écorce terrestre - nous voyons cette solubilité diminuer sous l'action de la température, et l'influence de la pression n'intervenir que faiblement pour corriger ce phénomène.

Dans le cas du gradient géothermique (en moyenne 33 m pour  $1^\circ\text{C}$ ) et de la pression hydrostatique, il existe pour les eaux souterraines une limite de profondeur au-delà de laquelle la solubilité du gaz carbonique diminue.

Cette diminution de solubilité du  $\text{CO}_2$  au-delà d'une certaine profondeur entraîne, par suite d'un déficit en gaz carbonique et en vertu de la loi d'action de masse, une dissociation du bicarbonate soluble en carbonate insoluble, et par conséquent une précipitation des carbonates.

En toute rigueur, il faudrait également tenir compte des variations de la pression dues aux variations du niveau de la nappe. Celles-ci ne peuvent cependant intervenir que si du  $\text{CO}_2$  gazeux est amené en présence de l'eau ; dans ce cas, une augmentation de la pression amènera une dissolution des carbonates, tandis qu'une diminution de pression provoquera leur précipitation. Ce cas est peut-être à envisager pour des karst à alimentation saisonnière, ou bien lors d'une variation du niveau de base du réseau hydrographique superficiel.

#### Solubilité du $\text{CO}_2$ dans une eau chargée de sels

Pour la transformation des carbonates, la loi d'action de masse ne s'applique qu'en l'absence d'autres sels. Dans le cas où se trouvent en présence des électrolytes forts (sulfates et chlorures) et des électrolytes faibles (bicarbonates), les solubilités varient en fonction du degré de dissociation (J. EGGERT et L. HOCK). L'expérience a démontré (H. EHLERT et W. HEMPEL) que la solubilité des bicarbonates de calcium diminue en présence de chlorures de sodium et de magnésium. En général, la solubilité d'un sel faible diminue en présence d'un sel fort (M. BOLL) ; il y a donc une tendance à la précipitation des carbonates par apport de sulfates et par excès de chlorures.

L'augmentation de température avec la profondeur ainsi que la présence d'électrolytes forts tendent à précipiter les carbonates.

#### Limite de karstification

Il y a ainsi, dans un réseau hydrologique, une zone dans laquelle se produisent d'importantes précipitations de carbonates. Ces carbonates peuvent contribuer à boucher les fissures préexistantes et à constituer ainsi un barrage à la circulation des eaux souterraines et, partant, une limite de karstification. La position d'une telle limite dépend de plusieurs variables, notamment de la quantité d'eaux fossiles, de la température et surtout de la quantité de  $\text{CO}_2$  amenée par les eaux météoriques.

Il serait peut-être plus simple de traduire ce phénomène sous une forme plus générale :

Tandis que leur température augmente avec la profondeur, les eaux chargées de  $\text{CO}_2$  dissolvent, au cours de leur circulation dans des terrains calcaires d'origine marine, des quantités de plus en plus importantes de sulfates et de chlorures. Cette variation quantitative de la nature physico-chimique des eaux aboutit, à un certain moment, à une brutale variation qualitative : le phénomène de dissolution du calcaire devient impossible, il se produit une précipitation des carbonates, d'où un arrêt du processus de karstification.

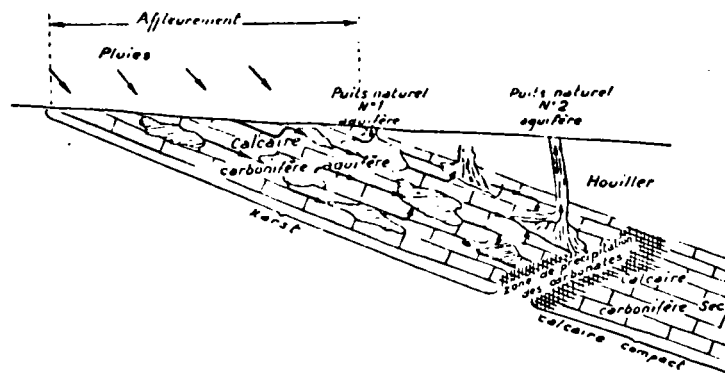
#### Karst aquifère et karst sec

Lors de sa formation et à la suite de conditions bien définies, un karst a pu être arrêté à la limite de karstification précisée précédemment. Lorsque ces conditions varient, il s'établit une nouvelle limite de karstification qui se situe soit au-delà de l'ancienne limite - il y a redissolution des carbonates précipités suivie d'un simple accroissement du réseau karstique - soit en-deçà de cette même limite, le karst aquifère est alors plus restreint, séparé d'un paléokarst par la nouvelle zone de précipitation des carbonates.

C'est dans ces conditions qu'a évolué le karst du Nord de la France :

Pendant la période séparant le Carbonifère du Cénomanién, un important réseau karstique s'est constitué à partir de la grande surface des affleurements du Dinantien (figure 17). Après la transgression cénomaniénne et une érosion partielle beaucoup plus récente, la surface des affleurements du Calcaire carbonifère ayant été réduite par des atterrissements d'âge secondaire, le volume des eaux d'infiltration, par conséquent l'apport de  $\text{CO}_2$ , a diminué et une nouvelle limite de karstification s'est établie entre les affleurements et la limite antécénomaniénne (figure 17b).

a) Réseau karstique anté-cénomannien



b) Réseau karstique post-cénomannien

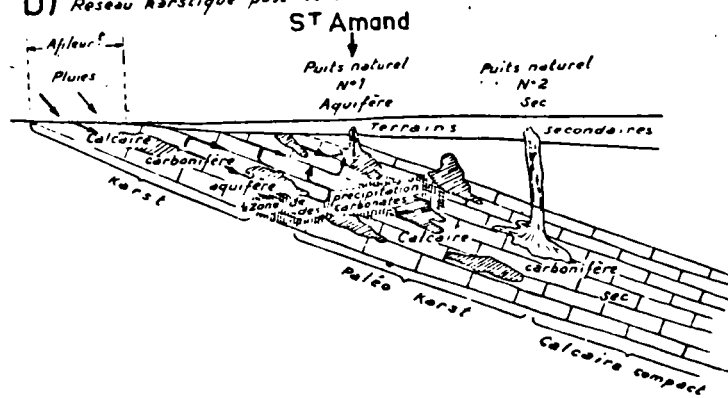


FIG. 17

### Application à l'hydrogéologie des sources thermales de Saint-Amand-Les-Eaux

Dans un travail déjà ancien, le Docteur Jean BARROIS avait étudié, à la suite d'OLRY et de GOSSELET, l'hydrogéologie de la région de Saint-Amand-Les-Eaux (Nord). Monsieur Jean BARROIS avait émis l'idée que les eaux de précipitation atmosphérique s'infiltrèrent dans la région de Péruwelz, circulent dans le Calcaire carbonifère jusqu'aux environs de Saint-Amand-Les-Eaux, où elles remontent à la surface, traversant le terrain houiller et les terrains plus récents à la faveur d'une faille (Jean BARROIS).

Plus récemment, Mademoiselle MUCHEMBLE a démontré que la radioactivité de ces eaux était due à leur passage au travers des ampélites de Bruille. Un captage nouveau, réalisé en 1955 à Saint-Amand-Les-Eaux et atteignant pour la première fois la partie profonde du gisement, permettait d'espérer la possibilité d'étudier les eaux en place dans les terrains primaires et de comparer la minéralisation, la température et la radioactivité de ces eaux avec celles de l'eau captée habituellement à Saint-Amand (G. MINOUX, J. RICOUR et G. WATERLOT). Ce sondage a montré que les terrains secondaires reposent directement sur le Calcaire carbonifère sans interposition des schistes ampélitiques de Bruille, et que le Calcaire carbonifère n'est pas aquifère en cet endroit, tout au moins dans sa partie superficielle. Il faudrait donc admettre que l'eau artésienne du Calcaire carbonifère remonte dans les terrains secondaires entre Saint-Amand et Péruwelz, à la faveur d'une faille qui intéresserait à la fois les terrains primaires et le Turonien.

Contrairement à l'opinion de ces auteurs, il me semble difficilement admissible que l'eau, sur un trajet relativement court, pendant lequel elle n'a pu avoir qu'un contact discontinu avec la surface des ampélites - roches imperméables - ait pu être rendue aussi intensément minéralisée et radioactive. Il semble beaucoup plus logique de penser que des vides dus à des dissolutions souterraines du Calcaire carbonifère aient été comblés par de véritables foudroyages d'ampélites de Bruille devenues ainsi "perméables en grand" ; ces foudroyages ont constitué l'amorce de puits naturels qui se sont répercutés à travers les terrains surincombants jusqu'au Sénonien. Par ces puits, l'eau artésienne du Calcaire carbonifère a donc pu remonter sous pression et se mélanger à la nappe de la craie. Le contact de l'eau et des roches radioactives se trouverait ainsi assuré de façon beaucoup plus intime que dans l'hypothèse précédente, les débris de schistes pyriteux étant littéralement baignés par cette eau lors de son passage, ce qui expliquerait sa très forte minéralisation et son exceptionnelle radioactivité. Cette eau, en se mélangeant à la nappe de la craie, acquiert ensuite les teneurs connues à Saint-Amand.

L'effondrement des terrains dans le puits naturel, amorcé vraisemblablement dans des temps très reculés, s'est poursuivi jusqu'à une époque relativement récente ; en effet, l'Argile de Louvil (Eocène) a été perturbée, et cette perturbation a permis la remontée de l'Eau sous pression artésienne jusqu'au Quaternaire.

### Conclusion

La composition physico-chimique de l'eau circulant dans les terrains calcaires et l'étude des variations de cette composition nous amènent à admettre la notion nouvelle de limite de karstification.

Dans certains cas particuliers (Nord de la France), cette limite pourra séparer deux systèmes karstiques totalement indépendants ; elle acquerra alors un grand intérêt pratique pour l'étude des ressources hydrologiques.

L'un de ces systèmes sera éventuellement le siège d'une circulation d'eau artésienne (Saint-Amand-Les-Eaux), tandis que l'autre sera le plus souvent sec ou tout au moins peu aquifère."

L'hypothèse de A. VANDERBERGHE appelle plusieurs remarques :

- si la température augmente en profondeur (de 1° par 33 mm en moyenne), la pression augmente (pour l'eau de 1 atmosphère par 10 m) et, d'après les courbes de variation de la solubilité du gaz carbonique (figure 16), la solubilité augmenterait fortement en profondeur ; elle serait de 6 l/par litre d'eau pure pour une pression de 5 atmosphères à 12°C et de 16 l/par litre d'eau pure pour une pression de 100 atmosphères à 75°C,

- le fait que les puits naturels recoupés dans le bassin houiller soient secs peut être simplement dû au poids des terrains qui ont une densité nettement supérieure à l'eau et colmatent donc les puits,

- le cheminement de l'eau depuis Peruwelz au nord expliquerait difficilement sa température de l'ordre de 25° et l'artésianisme.

Donc, compte-tenu du relèvement qu'a subi l'Ardenne au Tertiaire et des périodes froides du Quaternaire (facilitant la dissolution du gaz carbonique dans l'eau), il est probable que le karst anté-cénomaniens du Calcaire carbonifère a continué à être actif du moins en profondeur jusqu'à nos jours et que les puits naturels témoignent de cette activité d'autant que leur âge est variable et qu'il seraient plus anciens au Nord du bassin minier qu'au Sud, ce qui confirmerait la poursuite de l'activité du karst en profondeur.

S'il y a eu précipitation de carbonate, ce serait plutôt à faible profondeur, ce qui serait une autre façon d'expliquer l'absence de relations entre la nappe du Calcaire carbonifère dans la région Tournai-Peruwelz-Maulde et celle circulant sous le bassin houiller.

On retiendra également de ceci que l'exploitation intensive de l'eau contenue dans le karst, si elle faisait baisser trop fortement la pression, et la température provoquerait des phénomènes de précipitation des carbonates de calcium (c'est vraisemblablement ce qui se produit pour certains forages de la région de Saint-Amand dont le débit et la pression

diminuent progressivement (forage des établissements Devaux)).

### 33 - Essais de pompage - Transmissivité des terrains primaires

Un pompage de longue durée a été effectué en 1964 à l'Etablissement thermal sur le forage du Jardin d'Enfants inventorié sous l'indice national 21-7-122 (G. DASSONVILLE-A. FAURE). Ce captage capte la nappe du Calcaire carbonifère. Le pompage a duré 2 mois à un débit oscillant de 44 à 40,65 m<sup>3</sup>/h ; une faible influence a été constatée sur le forage à la craie du "Nouvel évêque d'Arras" (indice national 21-7-60) situé à une trentaine de mètres (diminution de débit et température). La transmissivité déterminée est de  $7.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Pour quelques autres sondages, on a pu déterminer la valeur du débit spécifique (équivalent d'une transmissivité) connaissant le débit pompé et le rabattement observé. On obtient les valeurs suivantes :

#### - forage de la Source du Clos de l'Abbaye (indice national 21-7-178)

Débit : 485 m<sup>3</sup>/h

Rabattement : 3 m

$$Q/S = 4,5.10^{-2} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

#### - forage du SIDEN à Maulde (indice national 21-3-2)

Débit : 30 m<sup>3</sup>/h

Rabattement : 16,55 m

$$Q/S = 5,0.10^{-4} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

#### - sondage houiller à Saint-Amand (indice national 21-7-35)

Débit : 53 m<sup>3</sup>/h

Rabattement : 6 m

$$Q/S = 2,5.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

La transmissivité de la partie supérieure du Calcaire carbonifère est donc variable et le plus souvent faible ( $5.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s à  $7.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s) comparée à celle des niveaux plus profonds karstifiés (forage de la source du Clos de l'Abbaye). Un forage de l'établissement thermal s'était même révélé sec.

Pour obtenir des débits importants, il semble donc nécessaire de rechercher les niveaux karstifiés qui peuvent se situer à plusieurs centaines de mètres sous le toit du Calcaire (sous recouvrement).

## 4 - HYDROCHIMIE

### 41 - Généralités

L'étude hydrochimique comporte deux parties :

- La compilation des anciennes analyses chimiques, dont les données sont assez disparates en raison de l'évolution rapide des techniques analytiques comme de la disparité des laboratoires,

- Les résultats d'une campagne de prélèvements d'eau des forages à la craie ou au Calcaire carbonifère dans la région de Saint-Amand. Les implantations des 26 forages sur lesquels a été effectué un prélèvement d'eau sont représentées sur la carte de la figure 18. Les analyses chimiques

B. R. G. M.

Service géologique régional  
NORD - PAS-DE-CALAIS

Rapport n° 80SGN 406 NPC/MGA/GTH

Plan n°

Date : 15-03-1980

## Carte d'implantation des points de prélèvement

## LEGENDE

- ~ Limite Dinantien Namurien
- Forage à la craie
  - Forage au Calcaire carbonifère
  - + Forage au Primaire (houiller au Calcaire carbonifère)

21

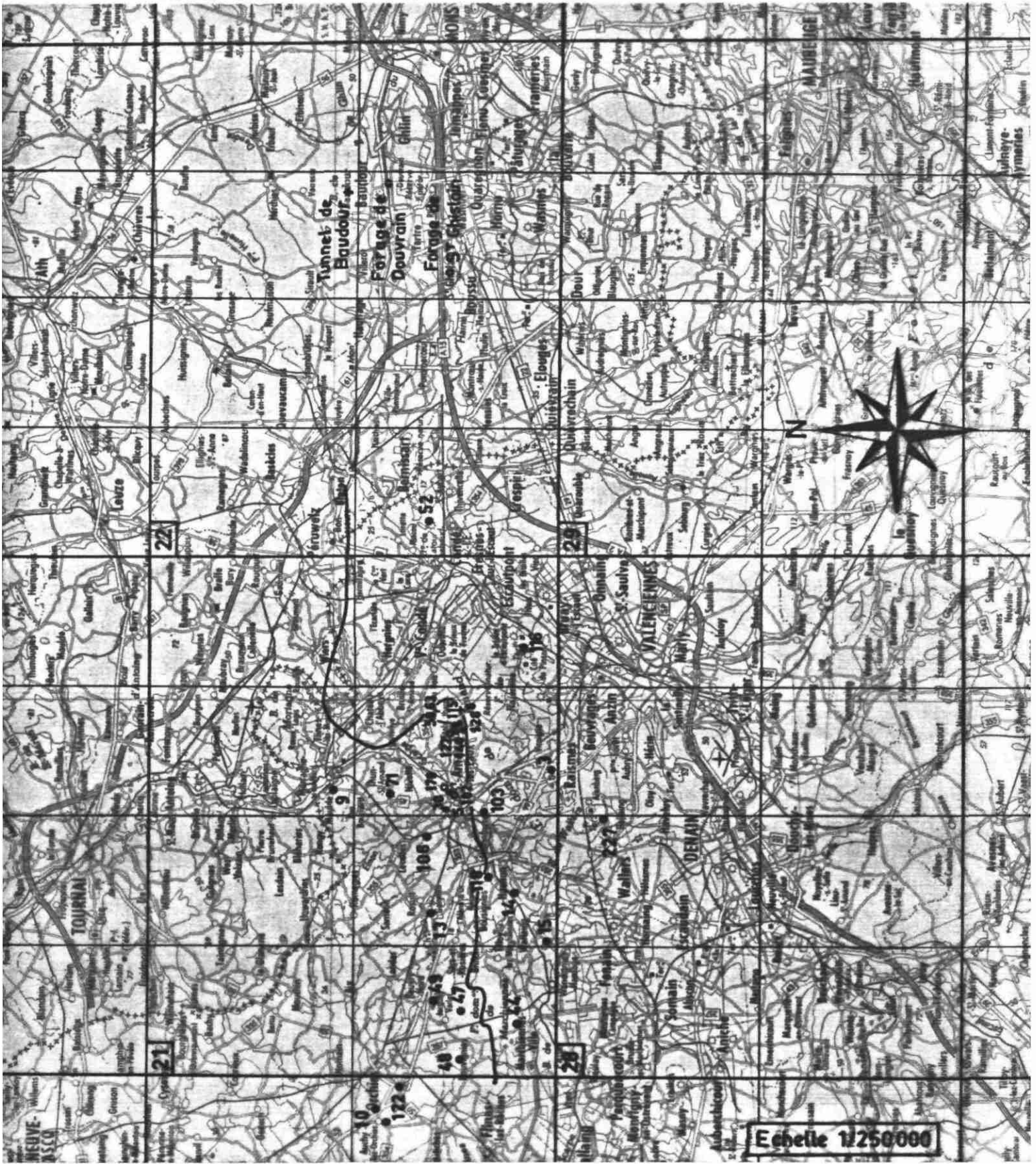
Numéro de carte au 1/50 000

1	2	3	4
5	6	7	8

Numéro des huitièmes

52

Indice national du forage



Echelle 1/250 000

en laboratoire ont été effectuées par l'Institut Pasteur à Villeneuve d'Ascq, les analyses préliminaires sur le terrain et le conditionnement des échantillons en flacon neuf de polyéthylènes ayant été assurés par le B.R.G.M. Les éléments analysés et les opérations effectuées sont :

- sur le terrain : - filtration 0,45  $\mu$  pour l'analyse des éléments majeurs,
- filtration 0,11  $\mu$  pour l'analyse des éléments traces,
- conductivité électrique (appareil VTV LF 56),
- Ph et Eh (ionomètre ORION 407 A),
- oxygène dissous (électrode ORION modèle 97-08),
- température (thermomètre à mercure au 1/10 de °C),
- ammoniacale (électrode spécifique ORION),
- dosage des sulfures et des thiosulfates (titrages iodométriques),
- analyse de la réserve alcaline (titrage acide),
  
- en laboratoire : - dureté totale, dureté alcaline, résistivité, résidu sec à 105°C,
- éléments majeurs : Ca , Mg , NH<sub>4</sub> , Na , K , Fe, Mg, Al, Cl , NO<sub>2</sub> , NO<sub>3</sub> , SO<sub>4</sub> , PO<sub>4</sub> ,
- éléments traces : B, F , Cr , Li, Sr, Ru, Ba, Pb, Zn, Cu, Va, Cd, Ag, Ni, Mn, Co, Hg, As, Sb, Se.

Les processus analytiques de ces analyses de laboratoire sont résumés dans le tableau VII ci-après ; les seuils analytiques sont indicatifs et dépendent de la concentration de l'élément recherché.

Parallèlement aux prélèvements d'eau, certains forages ont fait l'objet d'un échantillonnage dans des ampoules à vide pour analyse des gaz dissous par le laboratoire du B.R.G.M. à Orléans : - analyse par spectrométrie en phase gazeuse de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>.

Enfin, des échantillons d'eau ont été prélevés sous conditionnement plastique en vue d'analyse des répartitions isotopiques de certains ions en solution par le laboratoire du B.R.G.M. : <sup>3</sup>H (tritium) de la molécule d'eau, <sup>34</sup>S des sulfates, <sup>18</sup>O et <sup>2</sup>H de l'eau, <sup>13</sup>C et <sup>14</sup>C des bicarbonates.

Les conditions générales de prélèvement sont toujours identiques : prise de l'eau à la sortie des forages, en régime artésien ou en pompage. Dans ce dernier cas, l'échantillonnage est fait sur la colonne montante de la pompe. Ceci a demandé l'aménagement de certains forages industriels qui étaient démunis de robinet en amont des réservoirs. Les filtrations sont exécutées sous pression de gaz inerte (azote). Les échantillons pour analyse physico-chimique et éléments traces étaient acheminés à l'Institut Pasteur le soir du jour de prélèvement.

#### 42 - Nappe du Calcaire carbonifère

#### 421 - Examen des analyses anciennes

Elément	Méthode analytique	Seuil de détection p.p.m.
TH	Titration complexométrique par l'E.D.T.A.	
TAC	Titration acidimétrique	
SiO <sub>2</sub>	Spectrocolorimétrie automatisée - formation du complexe silicomolybdique.	0,5
Ca	Spectrocolorimétrie automatisée- réaction du crisolphaleine complexon	2
Mg	Absorption atomique	0,1
NH <sub>4</sub>	Spectrocolorimétrie automatisée-méthode du bleu d'indophénol	0,05
Na	Spectrométrie d'émission	0,5
K	Spectrométrie d'émission	0,5
Fe	Spectrocolorimétrie automatisée-formation d'un complexe avec le T.P.T.2	0,02
Mn	Spectrométrie d'Absorption atomique, au four graphite	0,005
Al	Spectrocolorimétrie - Réactif ériochrome cyamine	0,02
Cl	Spectrocolorimétrie automatisée-Réactif Thiocyanate mercurique	2
NO <sub>2</sub>	Spectrocolorimétrie automatisée-Réactif sulfanilamide-Naphtyl-éthylène diamine	0,05
NO <sub>3</sub>	Spectrocolorimétrie automatisée-Réduction des nitrates en nitrites	0,5
SO <sub>4</sub>	Turbidimétrie au chlorure de baryum	1
PO <sub>4</sub>	Spectrocolorimétrie automatisée - Réactif molybdique	1
Bo	Spectrocolorimétrie - Réactif acide carminique	0,01
F	Electrode spécifique	0,02
Cr	Spectrocolorimétrie - Réactif diphenyl carbazide	0,005
Li	Spectrométrie d'émission de flamme	
Sr	Spectrométrie d'émission de flamme	
Rb	Spectrométrie d'émission de flamme	
Zn	Spectrométrie d'Absorption atomique en flamme	0,001
Hg	Spectrométrie d'Absorption - Cellule à vapeur froide	0,0001
As	) Spectrométrie d'Absorption atomique à l'aide d'un générateur d'hydrures	0,001
Sb		0,001
Se		0,005
Ba		0,2
Pb	)	0,001
Cu	) Spectrométrie d'Absorption atomique au four graphite	0,002
V	)	0,02
Cd	)	0,001
Ag	)	0,001
Ni	)	0,005
Co	)	0,005

TABLEAU VII: Techniques analytiques utilisées.

Il y a actuellement peu de captages d'eau ayant atteint le Calcaire carbonifère, dans la région de Saint-Amand. Nous disposons d'analyses concernant quatre points (voir l'implantation en figure 18) :

- forage du Jardin d'enfants à l'établissement thermal (indice national 21-7-122),
- source des Chômeurs (drève de Suchemont) près de Saint-Amand thermal (21-7-6),
- forage du S.I.D.E.N. à Maulde (indice national 21-3-2),
- source Saint-Blaise à Saint Amand (indice national 21-7-102).

L'aquifère capté par la source des Chômeurs est indéterminé mais il ne peut s'agir que des schistes et grès du Namurien ou du Calcaire carbonifère.

Les principales caractéristiques qui ressortent de ces données (tableau VIII) sont une forte minéralisation liée à la présence de sulfate de calcium et une teneur en fer variable mais pouvant dépasser 1 mg/l. Il faut toutefois signaler que le forage du S.I.D.E.N. à Maulde se distingue des forages au Calcaire carbonifère de la région de Saint-Amand (teneur plus faible en sulfates, très forte teneur en chlorures de calcium et de magnésium). Sa position au nord du prolongement de la faille d'Orchies expliquerait ce chimisme par des conditions d'alimentation en eau du Calcaire carbonifère différentes.

Du point de vue de l'évolution chimique, le forage du Jardin d'enfants a montré lors de son creusement en 1962 une teneur sulfatée de 700 mg/l, chiffre qui s'est modifié pour se stabiliser autour de 600 mg/l en 1973 (tableau IX). Par contre la source des Chômeurs, analysée de 1968 à 1976 (tableau IX), indique régulièrement une teneur de plus de 700 mg/l, seule la teneur en chlorure reste comparable aux autres eaux du Calcaire carbonifère.

#### 422 - Campagne de prélèvement d'octobre 1979

Trois forages au Calcaire carbonifère et un au Primaire indéterminé (Namurien probable) ont fait l'objet de prélèvements en octobre 1979 ; ce sont d'ailleurs les seuls encore accessibles aujourd'hui, mis à part le forage du S.I.D.E.N. à Maulde qui n'est pas équipé de pompe et n'est pas artésien. Les forages au Calcaire carbonifère de la région de Saint-Amand sont en effet tous artésiens dans la région de Saint-Amand-les-Eaux. De ces quatre forages, deux sont anciens à très anciens (1931 pour la source Saint-Blaise et âge indéterminé pour la source des Chômeurs) et deux sont récents (1962 - forage du Jardin d'enfants et 1974, source du Petit clos).

#### 4221 - Eléments majeurs (tableau X)

C'est le faciès sulfaté de l'eau qui ressort le plus, ces sulfates s'accompagnant de calcium et de magnésium; on remarque toutefois que ces quatre analyses peuvent être séparées en deux groupes : 1 groupe formé par la source des Chômeurs et le forage du Jardin d'enfants et l'autre formé par l'association source du Petit clos, source Saint-Blaise ; le premier groupe est en effet nettement plus minéralisé que le second.

B.R.G.M.  
S.G.R.N.P.A.

Forage au  
Cal.Carboni.

Forage à la craie

# ANALYSES ANCIENNES

TABLEAU VIII

Indice national	21-3-2	21-7-102	21-3-9	21-5-3	21-6-14	21-6-19	21-6-20	21-6-21	21-6-106	21-7-72	21-7-77	21-7-103	22-5-11	22-5-68	22-5-227	22-5-229	
Date de prélèvement	1959	1931	1962	1970	1972	1975	1975	1976	1974	1962	1965	1964	1974	197	1971	1977	
Localisation	SIDEN Maulde	DEVAUX St-Amand	SIDEN Maulde	Mar-chiennes	Hasnon	St-Amand	St-Amand	Milon-fosse	Tuyaux Bonna St-Amd	Lecelles	St-Amand	St-Amand	Vicq	Vicq	Quiévre-chain	St-Aybert	
PH			7,6	7,25	7,35	7,85	8,10	7,60	7,75	7,5	7,7		7,45	7,34	7,1	7,4	
Résistivité (ohm-cm)	497		2362	1200		1350	1280	1370	1280	978			1220		1430	1250	
Dureté totale (DHT) (°f)	124	82	24,6	47,4	41	37,2	33,8	33,8	21,8	53,9			48,4	29,8	41,8	38	
T.A.C. (°f)			16	41	32	37,2	37,2	34,2	31,2	28,5		42,1	32,2	24,8	30,6	45,2	
Oxydabilité au MnO <sub>4</sub> K (mg/l)						2,1	1,9	1,8	1,5				1,2	0,6	0,6	1,3	
Résidu sec à 105°C (mg/l)	1734		372,4	580	675	555		548	565	982	950		582	359	567	622	
CO <sub>2</sub> libre équilibrant (mg/l)				53		10		17	10				22		55	35	
H <sub>2</sub> S (mg/l)						RN		RN					RN				
O <sub>2</sub> dissous (mg/l)																	
Calcium Ca <sup>++</sup> (mg/l)	540*		120,6	133	85	81		75	39	122,4	142	114	148		129	108	
Magnésium Mg <sup>++</sup> (mg/l)	112*		12,3	34	48	38		36,4	29,2	58,4	42	33	27,8		23	26,8	
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)					0,62	0,4	0,6		0,6			0,45				0,72	
Sodium Na <sup>+</sup> (mg/l)				30	90	52		61	110		107	49	15,8		14	46	
Potassium K <sup>+</sup> (mg/l)				21	33,6	24		25,4	24,6			24,9	4,3		4	17	
Fer Fe <sup>++</sup> (mg/l)	1,4			2,0	0,71				1,6	0,08		0,4	0,78		0,09	0,24	
Manganèse Mn <sup>++</sup> (mg/l)				0,05									0,10		<0,05	<0,05	
Aluminium Al <sup>+++</sup> (mg/l)				0,01		0,02									<0,01	0,04	
Chlorures Cl <sup>-</sup> (mg/l)	676	64	18	54	38	24	24	32	44	48	128	46	30	22	26	20	
Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)								0,27	0	2,2			0,14			<0,05	
Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)		17,5	17,5						0,62		3		0,6			<0,5	
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	105,8	592	79,8	61	272	92	81	135	96,4	371,3	235	64	138	43	99	27	
Phosphates PO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)				0,5					<0,5			0,05			<0,5	0,1	
Bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)				500	395	454		417	380			251,4	393	206	374	551	
Composés phénoliques (en phénol)																	
Silice SiO <sub>2</sub> (mg/l)									25						27,5	28,5	
Fluor F <sup>-</sup> (mg/l)									1,55							0,96	
Détergent (mg/l)																	

\* CaO, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgO, HNO<sub>3</sub>  
(X1,4) (X1,02) (X1,6)

### TABLEAU IX

[illegible]

## RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES (1979) NAPPE DU CALCAIRE CARBONIFERE OU PRIMAIRE INDETERMINE (#)

TABLEAU X

Indice national	21-7-6 <sup>W</sup>	21-7-102	21-7-122	21-7-178	Belgique (Elskens- V.U.B.)	Belgique (Elskens- V.U.B.)	Belgique (Elskens- V.U.B.)	Belgique (Institut Pasteur)		
Dénomination ou situation	Source des chômeurs St-Amand	Source St- Blaise St-Amand	Forage du Jardin d'enfants St-Amand	Source du Clos St-Amand	Tunnels de Baudour	Sondage de St-Ghislain	Sondage de Douvrain	Sondage de Douvrain (18-01-80)		
PH	7,05	7,15	7,10	7,20				7,30		
Résistivité (ohm-cm)	666	920	716	966				7,40		
Dureté totale (DHT) (°f)	95	69,8	86,2	64,2			25	84		
T.A.C. (°f)	25	26,5	25,6	26,8				17		
Résidu sec à 105°C (mg/l)	1449	990	1333	944				1374		
Silice SiO <sub>2</sub> (mg/l)	26,5	22	26	21,5	43,7	42,7		60		
Calcium Ca <sup>++</sup> (mg/l)	246	168	210	178	303,8	428,2	224,8	252		
Magnésium Mg <sup>++</sup> (mg/l)	77,5	60	82	48	29,9	47,5	56,1	51		
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,4	0,3	0,5	0,3	0,01	0,01		< 0,1		
Sodium Na <sup>+</sup> (mg/l)	46,5	32,2	45,1	29,5	55,3	76,6	57,9	56,1		
Potassium K <sup>+</sup> (mg/l)	6,6	4,7	5,9	4,3	10,32	10,13	6,24	5,9		
Fer Fe <sup>++</sup> (mg/l)	0,16	0,05	1,25	0,10				0,84		
Chlorures Cl <sup>-</sup> (mg/l)	67	43	62	40	132,2	96,8	77,03	76		
Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,047	0,015		< 0,05		
Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5				< 0,5		72
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	702	418	620	372	710,4	1126	619,68	678		
Phosphates PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,01	0,01		< 0,1		
Bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	305	327	312	327	210,5	152,5	209,8	207		
ΣCations(+) en mg/l	20,91	14,86	19,42	14,25	20,4	29	18,68	19,42		
ΣAnions(-) en mg/l	21,52	15,27	19,78	14,24	22,1	28,8	18,52	19,67		
Résistivité (ohm-cm)	744	953	665	977						
Température (°C)	13	17	22	19			66			
Conductivité (mS)	1132		1450	1025						
PH	6,98	7	6,9	7,03			6,6			
Eh	+30	-75	+15	-100						
Oxygène dissous (mg/l)	1,2	0,3	1,8	0,65						
Sodium (mg/l)	7,04	6,85	7,64	6,86	5,35	7,56	9,27	9,50		
Potassium (mg/l)										
Calcium (mg/l)	5,29	5,21	4,65	6,03	5,49	5,59	3,88	4,50		
Sodium (mg/l)										

Nota : Les analyses des forages français ont été effectuées par l'Institut Pasteur à Villeneuve-d'Ascq ainsi qu'une analyse de l'eau du forage de Douvrain (Belgique) prélevée en cours de pompage (après 10 jours).  
 Les 3 autres analyses en Belgique ont été effectuées par le laboratoire du professeur Elskens et nous ont été transmises par Monsieur Delmer, Directeur du Service géologique de Belgique.  
 - lignes 21 à 26 : paramètres mesurés sur le terrain lors du prélèvement, par le B.R.G.M.

Indice national	21-7-6	21-7-102	21-7-122	21-7-178	BELGIQUE					
Dénomination Situation	Source des chômeurs St-Amand	Source St- Blaise St-Amand	Forage du jardin d'en- fants St-Ad.	Source du Clos St-Amand	Sondage de Douvrain					
Bore (mg/l)	0,07	0,05	0,08	0,05	0,06					
Chrome hexavalent ( $\mu$ g/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005					
Fluor (mg/l)	2,5	2,20	2,40	2,00	3,2					
Aluminium ( $\mu$ g/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02					
Lithium ( $\mu$ g/l)	82	56	75	50	92					
Rubidium ( $\mu$ g/l)	<10	<10	<10	<10	-					
Strontium (mg/l)	9,6	7,9	8,6	6,2	-					
Baryum (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	-					
Plomb ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1					
Zinc ( $\mu$ g/l)	9	5	8	9	10					
Cuivre ( $\mu$ g/l)	<2	<2	<2	<2	<2					73
Vanadium ( $\mu$ g/l)	<20	<20	<20	<20	-					
Cadmium ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1					
Argent ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1					
Nickel ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	-					
Arsenic ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1					
Antimoine ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1					
Mercure ( $\mu$ g/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1					
Manganèse ( $\mu$ g/l)	23	23	46	23	30					
Cobalt ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	<5					
Sélénium ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	<5					

Nota : Les analyses ont été effectuées par l'Institut Pasteur à Villeneuve d'Ascq.  
 L'eau du forage de Douvrain (Belgique) a été prélevée après 10 jours de pompage.

Les autres éléments ont le même comportement que ces ions principaux : ainsi le fer, le potassium, les chlorures, le bore, le fluor montrent des concentrations légèrement supérieures au Jardin d'enfants et à la source des Chômeurs qu'aux deux autres points.

Par contre, la source Saint-Blaise et la source du Clos se montrent réductrices (Eh négatif), et sont légèrement moins oxygénées (caractéristiques des nappes captives à faible circulation) par rapport aux forages précédents. Les modes de minéralisation étant vraisemblablement liés aux différentes zones aquifères du Calcaire carbonifère, il s'ensuit que déjà à ce niveau les venues d'eau semblent être de provenances diverses ; à propos des températures, c'est le forage du Jardin d'enfants qui a donné l'eau la plus chaude (pour le carbonifère), soit 22°C, la source des Chômeurs ne donnant que 13°C, mais il est probable que le temps de transit de l'eau dans le forage soit assez long.

#### 4222 - Les éléments-traces (voir tableau XI)

Les deux groupes dégagés dans l'étude des éléments majeurs se retrouvent dans les éléments-traces.

La source des Chômeurs et le forage du Jardin d'enfants contiennent plus de strontium, de manganèse et de lithium ; les deux autres eaux restant en-deçà.

#### 4223 - Analyse des gaz dissous

Parmi les quatre forages au Carbonifère déjà décrits ici, la source du petit Clos n'a pas fait l'objet, pour des raisons techniques, de prélèvement de gaz dissous.

La caractéristique commune des prélèvements du Carbonifère (tableau XII ci-dessous) consiste en l'appauvrissement de l'eau en oxygène et une teneur relativement importante en CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>, surtout en ce qui concerne le forage du jardin d'enfants (caractéristique des aquifères captifs).

Teneur en gaz Forage	CO <sub>2</sub> (x10 <sup>-4</sup> )	CH <sub>4</sub> (x10 <sup>-5</sup> )	Ar (x10 <sup>-5</sup> )	O <sub>2</sub> (x10 <sup>-5</sup> )	N <sub>2</sub> (x10 <sup>-4</sup> )
Saint-Blaise	8,16	5,53	1,86	6,25	8,58
Source des chômeurs	8,82	7,79	1,63	3,08	6,89
Jardin d'enfant	9,45	8,23	2,23	0,108	9,97

**Tableau XII : Résultats des analyses de gaz dissous pour les forages au Calcaire carbonifère.**  
(en mole/kg d'eau)

#### 4224 - Dosage des formes soufrées en solution .....

Le dosage global des formes soufrées en solution, effectué sur le terrain (exprimé en  $S^{=}$  et représentant la somme :  $H_2S$  + sulfures + thiosulfates + sulfites), a donné des valeurs faibles, la plus forte valeur étant mesurée au forage du Jardin d'enfants avec 0,80 mg/l, contre 0,40 mg/l pour Saint-Blaise et la source des Chômeurs. A la source du Clos, la teneur est inférieure au seuil de mesure de 0,30 mg/l. Etant donné ces faibles valeurs, la séparation des différentes formes n'a pas été faite et leur dosage isotopique en soufre n'a pu également être tenté.

#### 43 - Nappe de la craie

Une carte piézométrique du secteur intéressé dressée en état de basses eaux est présentée en annexe VI. Elle met en évidence un dome piézométrique centré sur l'établissement thermal, et une dépression centrée sur Beuvry-La-Forêt, Sars-et-Rosières. Dans l'ensemble de la zone, la nappe est maintenue captive ou semi-captive par les formations tertiaires.

#### 431 - Analyses anciennes

Celles-ci proviennent soit des archives de l'Institut Pasteur pour l'établissement thermal de Saint-Amand, soit de la documentation du B.R.G.M. (tableau VIII P. 70). Il apparaît, au vu de ces données fragmentaires, que la nappe de la craie est toujours du type bicarbonatée calcique, bien que la concentration en sulfates augmente d'Ouest en Est à partir de Millonfosse. Au niveau de l'établissement thermal plusieurs modifications se font sentir : augmentation des chlorures (64 mg/l au lieu de 20 à 30 mg/l) et des sulfates (de 300 à 700 mg/l de  $H_2SO_4$ ), ceux-ci s'accompagnant d'un accroissement des teneurs en ions alcalins et alcalino-terreux ; corrélativement le résidu sec dépasse largement le gramme par litre, contre 500 à 600 mg/l dans la périphérie de Saint-Amand.

Du point de vue de l'évolution chimique, le forage de l'Orée de la forêt à l'établissement thermal a été surveillé analytiquement de 1962 à 1975 (Tableau XIII).

Il est remarquable de constater la stabilité de la qualité chimique de l'eau : 64 à 68 mg/l de chlorures, chiffre qui se retrouve d'ailleurs sur les forages Vauban 55, Vauban 62 et Nouvel-Evêque d'Arras à l'établissement thermal (Tableau XIV). De même, le résidu sec à 105°C est resté aux alentours de 1300 mg/l jusqu'en 1973 et est descendu à 1100 mg/l en 1975.

	27/4/62	9/5/62	23/5/62	23/12/65	21/10/71	6/10/72	13/6/73	8/8/73	31/1/73	4/10/73	4/6/74	18/12/74	24/3/75	12/11/75
Ph	7,0	7,1	7,15	7,4	6,8	7,3	7,8		7,1	7,9	7,75	7,0	7,6	7,15
Rési	762	759	762	645	1020	665	575		770	695	605	800	690	665
R.S.	1394	1370	1420	1750	1311				1300	1346	1190			1130
Ca <sup>++</sup>	345,2	343,6	345,2	253	149				144	164	147			185
Mg <sup>+</sup>	123,1	123,8	123,8	14	119				127	120	123			101
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>					0	0	0	0		0	0	0,1	0,4	0,1
Na <sup>+</sup>					12,8				39,1	41,4	43			44,6
K <sup>+</sup>					11,7				9,4	10,95	12			8,6
Fe <sup>++</sup>	1,12	0,08	0,05	0,07	0,25	0,1	0,16	0,13	0,17	0,2	0,1	0,05	0,16	0,26
Mn <sup>++</sup>					0,05				0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Al					0,01				0,01	0,01	0,01			0,01
Cl <sup>-</sup>	66	66	66	70	60	62	64	66	62	64	64	94	62	68
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>					0	0		0	0	0	0,05		0,05	0,09
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>					0	0		0,62	0	0	0,5	0,6	0,5	0,5
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	645,1	621,6	670,3	696	602	672	610	626	662	638	593	471	608	585
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>					0,5				0,5	0,5	0,5			0,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		(HSO <sub>4</sub> (CaO (MgO			317					313	311			312
SiO <sub>2</sub>					22,5				28	29	28			28
F <sup>-</sup>									1,72	1,8	1,4			1,6
Pb									0,1	0,1	0,1			0,1
As									0,01	0,01	0,01			0,01
Cu <sup>6+</sup>									0,01	0,01	0,01			0,01
Cn									0,01	0,01	0,01			0,01
Cu									0,1	0,1	0,1			0,1
Zn									0,1	0,1	0,1			0,1

TABLEAU XIII : Analyses chimiques de 1962 à 1975 du forage de l'orée de la forêt (21/7/64)

	Amanda 21-7-61		Vauban 55 21-7-4		Nouvel-Evêque d'Arras 21-7-60		Vauban 62 21-7-63
	5.4.61	12.2.62	12.9.61	21.2.62	12.5.61	21.2.62	1962
Ph	6,9	6,9	6,95	7,0	6,95	7	7
Rési.	894	7,9	812	823	811	821	810
R.S	1492	1528	1320	1278	1270	1286	1310
Ca $\text{O}$	350,2	364,1		294,4		302,6	332,1
Mg $\text{O}$	139	145,4		108		108	113
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>							
Na <sup>+</sup>							
K <sup>+</sup>							
Fe <sup>++</sup>	0,48	8		0,06		0,05	0,4
Mn							
Al							
Cl	72	66	64	64	64	64	64
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>							
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>							
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	758,5	732,9	588	307,5	525	310	646,8
PO <sub>4</sub> <sup>----</sup>							
HCO <sub>3</sub>							

432 - Analyses effectuées en 19794321 - Eléments majeurs de la balance ionique (Tableau XV)  
(1 et 2)

A la date du 31 décembre 1979, 20 échantillons provenant de la nappe de la craie ont été prélevés et analysés. Les résultats d'analyses anciennes figurent entre parenthèses sur les figures 19 à 22).

La nappe de la craie se comporte géochimiquement comme une nappe captive à renouvellement lent ; ceci est sensible par les faibles teneurs en oxygène dissous (de 0,2 à 3 mg/l) et par l'absence quasi totale de nitrates et de nitrites. D'emblée, on remarque une franche modification des concentrations aux abords de Saint-Amand et plus particulièrement de Saint-Amand-thermal.

La teneur en sulfates est responsable avec le calcium de cette évolution qui se manifeste par une forte augmentation du résidu sec (minéralisation globale) ; aussi, celui-ci passe de 500 mg/l à Warlaing à plus de 1300 mg/l à l'établissement thermal. Il faut cependant noter que l'on trouve déjà plus ou moins de 150 mg/l de  $\text{SO}_4^{--}$  à Beuvry, qui se situe assez loin de Saint-Amand.

. Sulfates

Le report des teneurs en sulfates (figure 19) à partir desquelles sont tracées des courbes d'isoteneurs pour la nappe de la craie montre des teneurs en sulfates maximales à l'établissement thermal (voisines de 600 mg/l). Celles-ci décroissent en se dirigeant vers l'Est de façon assez régulière jusqu'à une ligne Lecelles-Millonfosse ; on remarque ensuite une excroissance au niveau d'Hasnon qui se prolonge vers le Nord jusqu'à Rosult et Beuvry ; où les teneurs sont encore supérieures à 150 mg/l, alors que la teneur normale de la craie est inférieure à 50 mg/l.

On remarquera également à l'Est de Saint-Amand une teneur élevée au forage 3 du Lavoir de la fosse Ledoux (320 mg/l en 1972 près de Condé-sur-Escaut).

Si l'on superpose cette carte à l'annexe II (carte de l'écorché du Paléozoïque sous le recouvrement), on constate que les plus fortes teneurs s'alignent soit sur la limite nord du bassin houiller (établissement thermal) ou à proximité d'accidents importants dans la partie nord du bassin houiller (faille de Vicoigne) pour Hasnon et Condé-sur-Escaut.

Il faudrait donc admettre la présence en-dehors de l'établissement thermal, d'autres secteurs où l'eau de la nappe du Calcaire carbonifère, sous pression, traverserait les dièves turoniennes et alimenterait la nappe de la craie.

Indice national	21-7-59	21-7-63	21-7-115	21-7-126	21-7-148	21-5-47	21-5-49	21-6-15	21-7-30	21-7-71
	Etablissement thermal					S.O.A. Beuvry	Coton industriel Beuvry	Warlaing	Hôpital de St-Amand	Brasserie du Corbeau Lecelles
	Vauban 54	Vauban 62	Orée du bois	Source Amanda	Nouvel Evêque d'Arras					
PH	7,25	7,20	7,20	7,15	7,05	7,45	7,45	7,05	7,20	7,25
Résistivité (ohm-cm)	735	745	716	669	743	1190	1136	1423	1071	996
Dureté totale (DHT) (°f)	86,6	88,4	89,2	96,4	84,6	25,1	24,9	36,3	45,2	44,4
T.A.C. (°f)	24,2	25	25	25	24,2	29,4	28,4	37,8	27	28
Résidu sec à 105°C (mg/l)	1319	1340	1381	1477	1322	612	647	494	781	825
Silice SiO <sub>2</sub> (mg/l)	27,5	27,5	28,5	23	27,5	17	22,5	27,5	14	26
Calcium Ca <sup>++</sup> (mg/l)	230	230	230	230	228	54	50	100	106	98
Magnésium Mg <sup>++</sup> (mg/l)	60,5	70	72,5	95	65	28	26,2	27	45	50,5
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,63	0,63	0,5	0,54	0,60
Sodium Na <sup>+</sup> (mg/l)	46,5	46,5	48,3	53,8	46	105,8	121,9	31,7	51,5	80,5
Potassium K <sup>+</sup> (mg/l)	6,1	6,1	7	7,4	6,6	21,3	20,4	15,2	16,4	18,6
Fer Fe <sup>++</sup> (mg/l)	<0,02	<0,02	0,14	0,14	0,05	0,12	0,16	0,14	0,84	0,14
Chlorures Cl <sup>-</sup> (mg/l)	60	60	63	68	73	52	65	21	72	35
Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	611	623	615	725	578	149	162	45	218	311
Phosphates PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	295	305	305	305	295	359	346	461	329	342
ΣCations(+) en mg/l	18,67	19,45	19,76	21,84	18,94	10,21	10,50	9,06	11,72	13,06
ΣAnions(-) en mg/l	19,27	19,67	19,58	22,03	18,95	10,44	10,89	9,08	11,98	13,07
Résistivité (ohm-cm)		632	744		651	1349	1232	1581	1239	1209
Température (°C)	25	24,5	15,5	14,8	26	13	14	12	14	11,5
Conductivité (mS)	1525			1370	1550	730	815	580	855	850
PH	6,94	6,90	6,93	6,80	6,90	7,38	7,38	7,00	7,10	7,08
Eh	-180	-125	-5	+215	-160	+55	+60	+90	+65	+240
Oxygène dissous (mg/l)	0,55	0,80	0,10	0,50	0,80	0,20	3,1	0,20	0,90	0,25
Sodium (mg/l)	7,62	7,62	6,90	7,27	6,97	4,96	5,97	2,08	3,14	4,32
Potassium (mg/l)	4,94	4,94	4,78	3,94	4,95	0,51	0,41	3,15	2,07	1,21
Calcium (mg/l)										
Sodium (mg/l)										

Nota : Analyses effectuées par l'Institut Pasteur à Villeneuve d'Ascq.

Lignes 21 à 26 : paramètres mesurés sur le terrain lors du prélèvement, par le B.R.G.M.

## RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES (1979) - NAPPE DE LA CRAIE

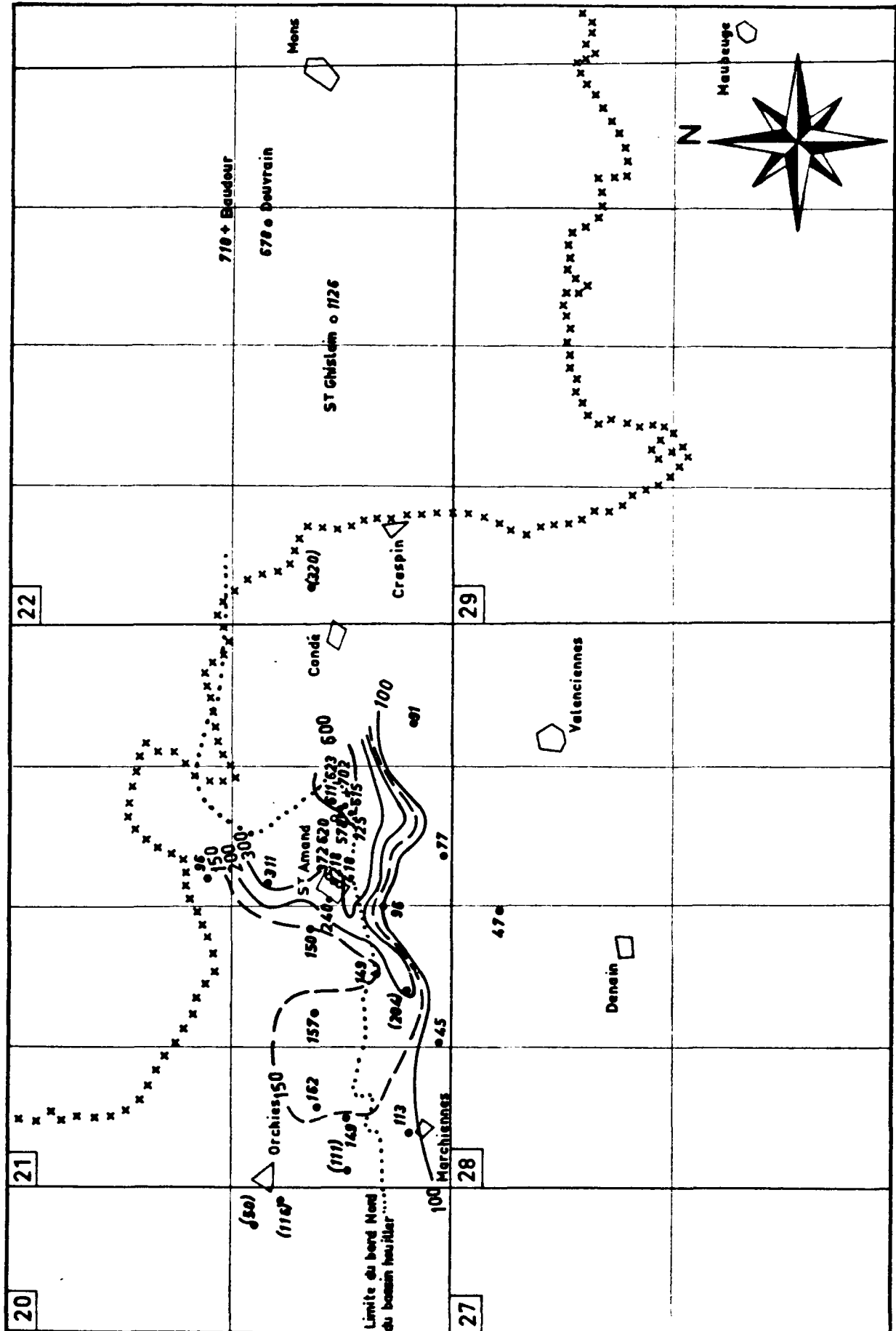
TABLEAU XV<sup>(2)</sup>[illegible]

01  
Carte des teneurs en sulfates des nappes du  
Calcaire carbonifère et de la craie

Fig. 19

- LÉGENDE -

- Forage à la craie
- Forage au Calcaire carbonifère
- + Forage au Primaire (houiller ou Calcaire carbonifère)
- x x x x Frontière franco-belge
- 210 Teneur en sulfates (en mg/l)
- 200 — Courbe d'isoteneur pour la nappe de la craie



Echelle: 1/250 000

• Chlorures

La carte des teneurs en mg/l (figure 20) confirme les remarques faites pour les sulfates ; la zone des teneurs en chlorures supérieures à 50 mg/l (teneur habituelle pour la nappe de la craie : 20 à 30 mg/l) s'aligne remarquablement sur la bordure nord du bassin houiller à l'ouest de Saint-Amand.

• Rapport  $\frac{\text{Sodium}}{\text{Potassium}} \quad \frac{\text{Na}}{\text{K}}$

La carte des rapports des teneurs en mg/l  $\frac{\text{Na}}{\text{K}}$  (figure 21) montre pour les teneurs maximales, à l'ouest de Saint-Amand, un déplacement vers le nord de la zone où  $\frac{\text{Na}}{\text{K}} > 5$  par rapport à la zone à teneurs en chlorures  $> 50$  mg/l, qui pourrait être dû à un accroissement des teneurs en Na par échange de base avec Ca dans la zone captive sous le bassin d'Orchies.

• Rapport  $\frac{\text{Calcium}}{\text{Sodium}} \quad \frac{\text{Ca}}{\text{Na}}$

La carte des rapports des teneurs  $\frac{\text{Ca}}{\text{Na}}$  en mg/l (figure 22) vient confirmer la précédente remarque.

4322 - Eléments-traces (tableau XVI<sub>1</sub> et 2)

Cette campagne d'analyses a permis de rechercher de nombreux éléments en trace, qui ne sont pratiquement jamais recherchés en raison, soit de leur rareté, soit de leur toxicité moyenne ou nulle. Nous avons ainsi montré l'absence généralisée ou à des teneurs inférieures ou seuil de détection de rubidium, baryum, plomb, cuivre (sauf à la source Amanda), aluminium, vanadium, cadmium, argent, nickel, arsenic, antimoine, mercure, cobalt, sélénium et de chrome hexavalent. Ces métaux sont en effet très peu solubles, mais la présence de conditions réductrices aux forages de l'établissement thermal aurait pu favoriser de telles mises en solution.

On note par contre la présence à des doses mesurables de bore, lithium, strontium, zinc et manganèse.

Parmi ces éléments traces le lithium apparaît comme un bon traceur, car il ne subit pas a priori de fixation au cours de son transit et est d'ailleurs utilisé comme traceur artificiel dans certains cas.

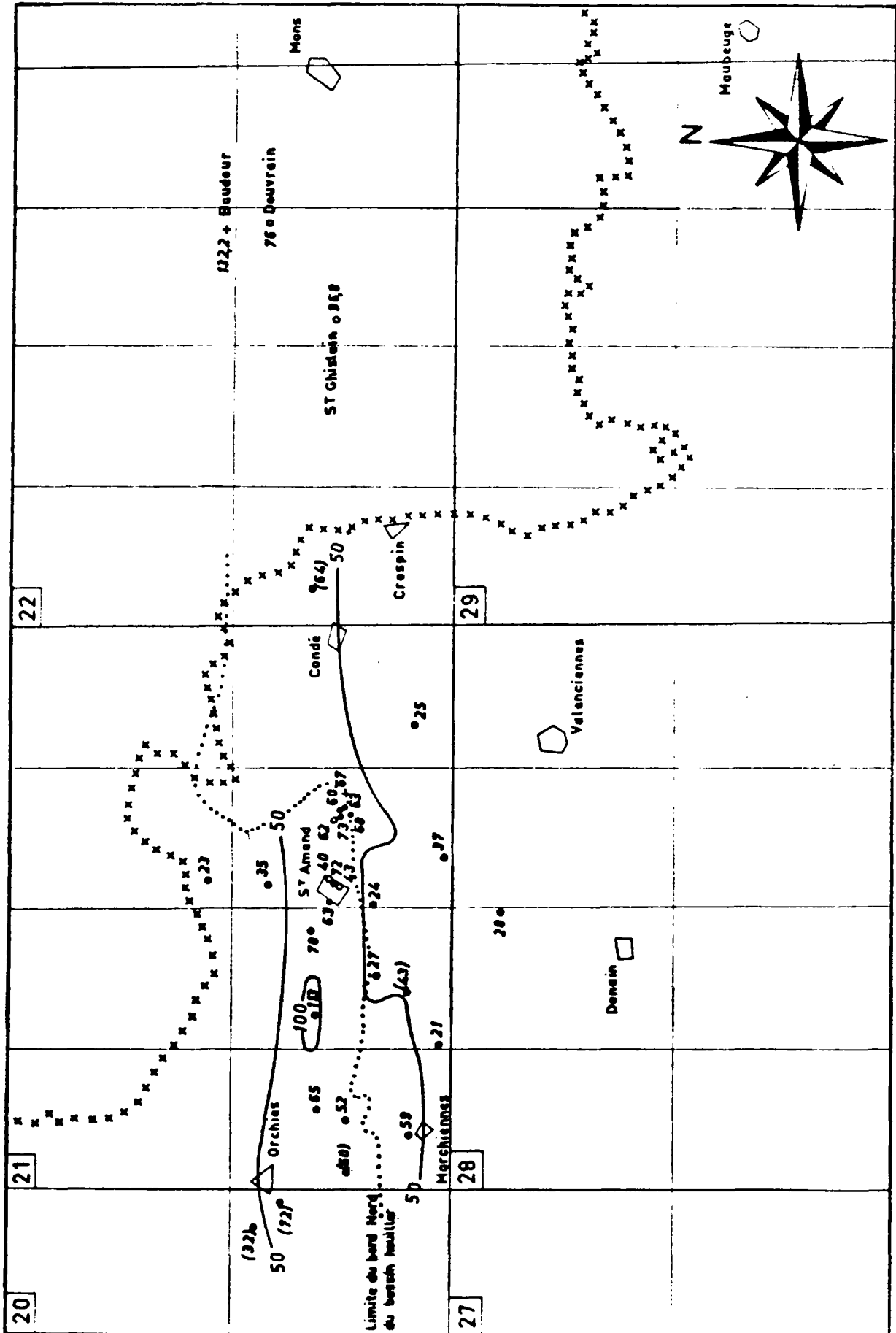
La zone des teneurs supérieures à 50  $\mu$ g/l (figure 23) couvre la bordure nord du bassin minier.

On remarquera cependant au niveau de l'établissement thermal la différence de teneur assez sensible entre le forage Nouvel-Evêque-d'Arras (70  $\mu$ g/l) et les autres (Vauban, orée de la forêt, Amanda - 51 à 59  $\mu$ g/l) dont la teneur en lithium est proche de celle des forages au Calcaire carbonifère de Saint-Amand (source du Clos 50 mg/l) et source Saint-Blaise (56  $\mu$ g/l).

Carte des teneurs en chlorures des nappes du Calcaire carbonifère et de la craie

- LÉGENDE -

- Forage à la craie
- Forage au Calcaire carbonifère
- ✦ Forage au Primaire (houiller ou Calcaire carbonifère)
- × × × × Frontière franco-belge
- 25 Teneur en chlorures (en mg/l)
- 100 — Courbe d'isoteneur pour la nappe de la craie



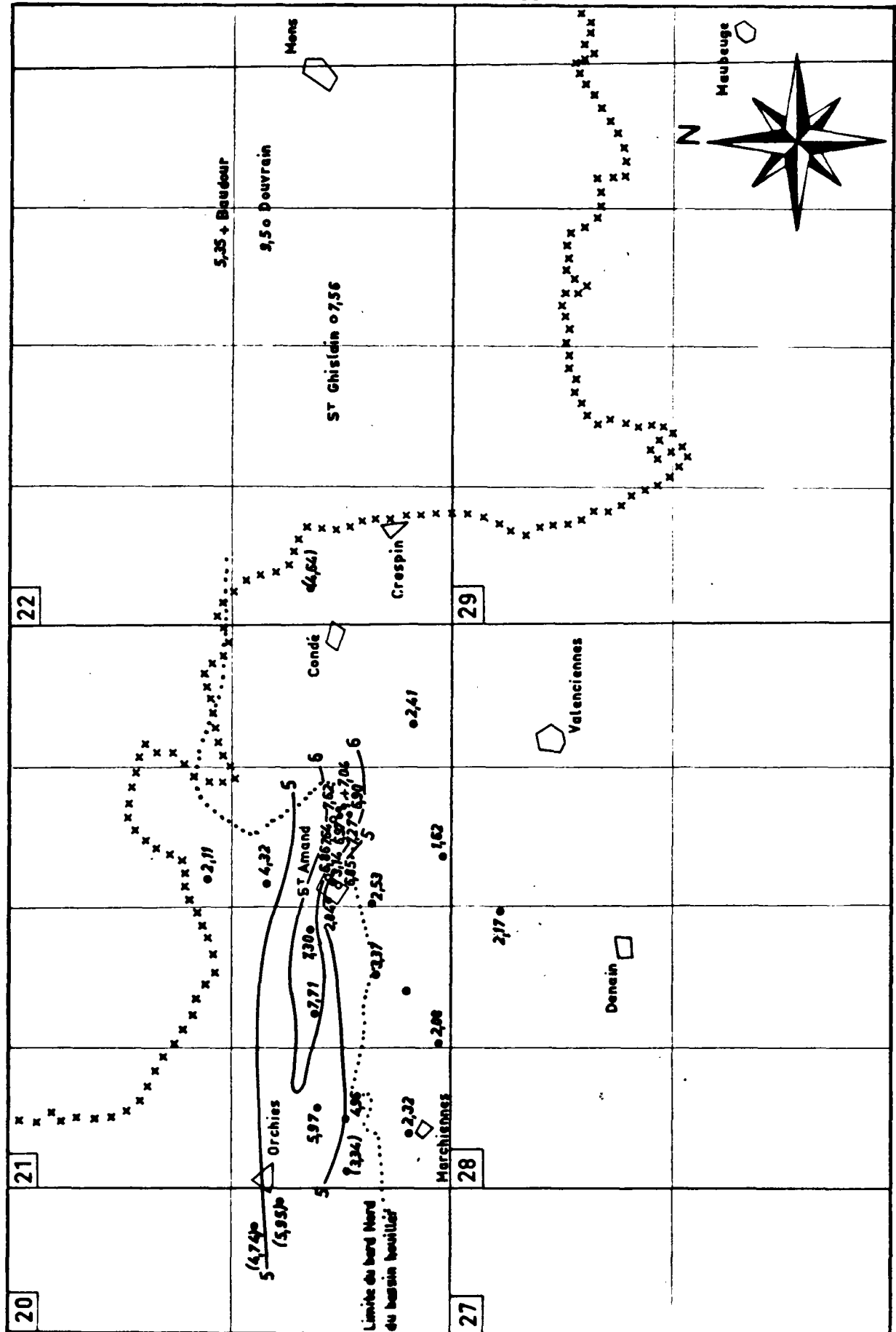
Echelle: 1/250 000

Carte du rapport des teneurs en mg/l sodium/potassium des  
nappes du Calcaire carbonifère et de la craie

Fig. 21

## - LÉGENDE -

- Forage à la craie
- Forage au Calcaire carbonifère
- + Forage au Primaire (houiller ou Calcaire carbonifère)
- xxxxx Frontière franco-belge
- 2,11 Rapport des teneurs (en mg/l)  $\frac{\text{sodium}}{\text{potassium}}$
- 5 — Courbe d'iso-rapport pour la nappe de la craie

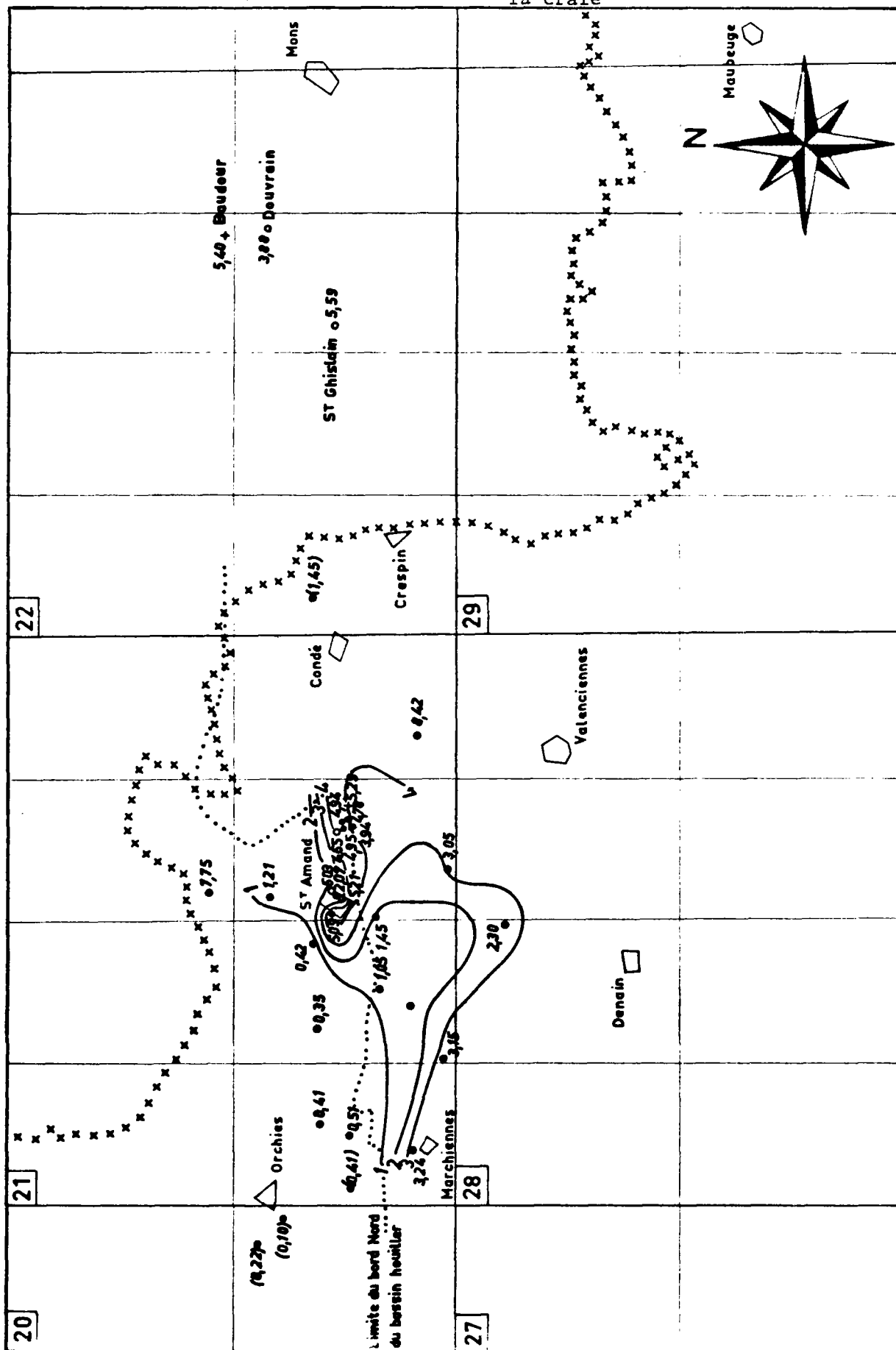


Carte du rapport des teneurs en mg/l calcium/sodium des  
nappes du Calcaire carbonifère et de la craie

Fig. 22

- LÉGENDE -

- Forage à la craie
- Forage au Calcaire carbonifère
- + Forage au Primaire (houiller ou Calcaire carbonifère)
- xxxxx Frontière franco-belge
- 0,51 Rapport des teneurs (en mg/l) calcium sodium
- / — Courbe d'iso-rapport pour la nappe de la craie



Echelle: 1/250 000

## RESULTATS DES RECHERCHES D'ELEMENTS-TRACES - FORAGES A LA CRAIE

TABLEAU XVI

Indice national	21-7-59	21-7-63	21-7-115	21-7-126	21-7-148	21-5-47	21-5-49	21-6-15	21-7-30	21-7-71
Dénomination Situation	Etablissement thermal					S.O.A. Beuvry	Coton indus- triel Beuvry	Warlaing	Hôpital de St-Amand	Brasserie du Corbeau Lecelles
	Vauban 54	Vauban 62	Orée du bois	Source Amanda	Nouvel Evê- que d'Arras					
Bore (mg/l)	0,05	0,06	0,07	0,07	0,03	0,39	0,47	0,09	0,32	0,46
Chrome hexavalent ( $\mu$ g/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Fluor (mg/l)	2,5	2,6	2,8	2,5	2,5	1,6	1,6	0,6	1,05	1,35
Aluminium ( $\mu$ g/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Lithium ( $\mu$ g/l)	51	51	52	59	70	89	92	45	65	88
Rubidium ( $\mu$ g/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Strontium (mg/l)	7,9	7,8	9,1	5,0	8,2	7,0	6,6	6,5	6,6	7,8
Baryum (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Plomb ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Zinc ( $\mu$ g/l)	6	6	6	12	7	8	4	8	40	15
Cuivre ( $\mu$ g/l)	<2	<2	<2	<3	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Vanadium ( $\mu$ g/l)	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Cadmium ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Argent ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Nickel ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Antimoine ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Mercuré ( $\mu$ g/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Manganèse ( $\mu$ g/l)	23	23	28	10	28	5	9	5	37	9
Cobalt ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sélénium ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5

Nota : Les analyses ont été effectuées par l'Institut Pasteur à Villeneuve d'Ascq.

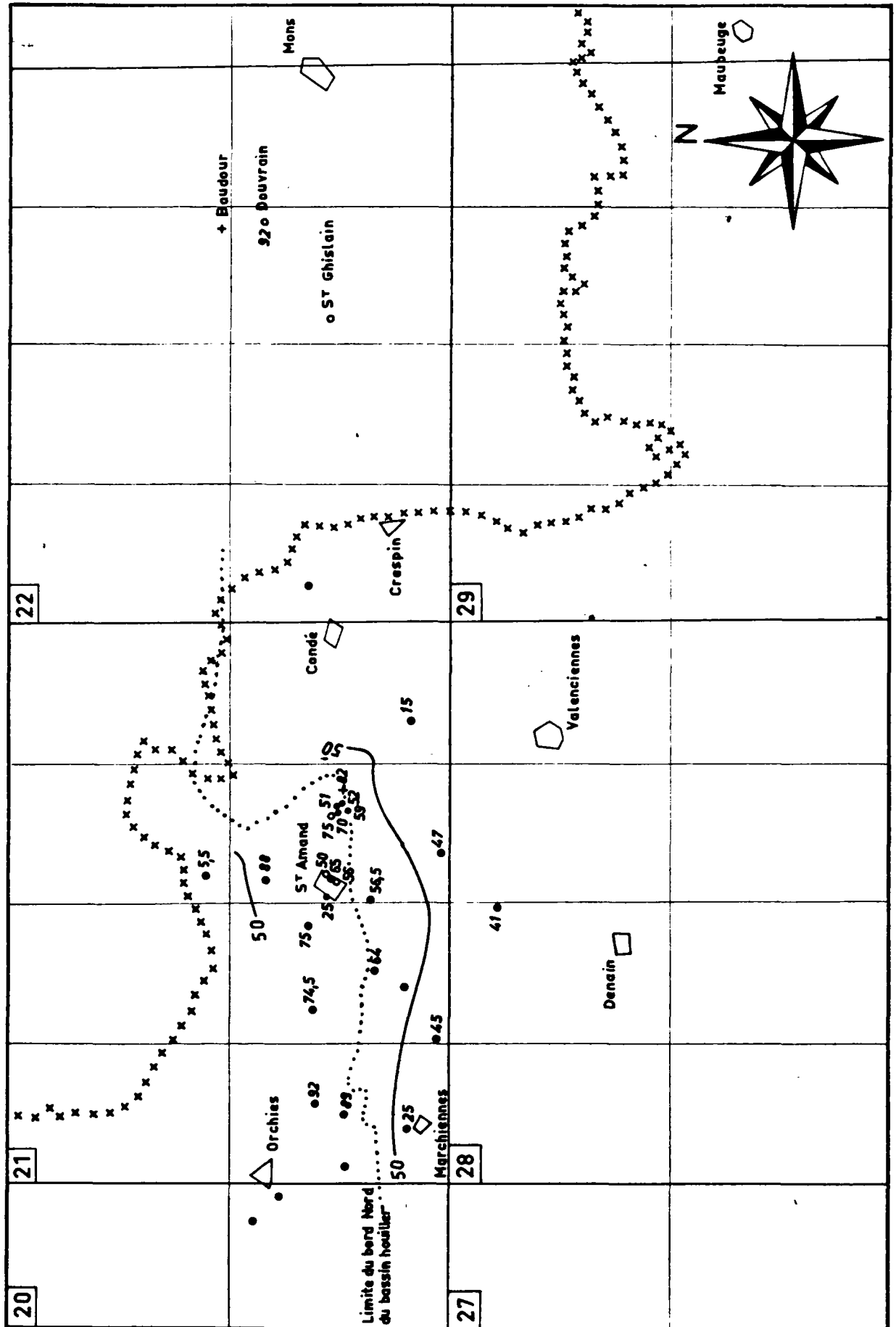
Indice national	21-3-9	21-5-44	21-6-13	21-6-106	21-6-118	21-7-3	21-7-5	21-7-103	21-8-116	28-2-227
Dénomination Situation	SIDEN Maulde	FOI Marchiennes	AGC Rosult	Tuyaux Bonna St-Amand	SIDEN Milonfosse	Fosse SABATIER Raismes	Ets DAVAINE St-Amand	FO3 - S.E.F. St-Amand	Lavoir ROUS- SEAU -Anzin	Fosse AREN- BERG-Wallers
Bore (mg/l)	0,32	0,14	0,80	0,51	0,58	0,20	0,05	0,39	0,02	0,20
Chrome hexavalent ( $\mu$ g/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Fluor (mg/l)	0,11	0,62	1,80	1,60	1,10	0,64	0,21	0,78	0,26	0,64
Aluminium ( $\mu$ g/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Lithium ( $\mu$ g/l)	5,5	25	74,5	75	64	47	25	56,5	15	41
Rubidium ( $\mu$ g/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Strontium (mg/l)	0,5	6,0	4,3	4,6	5,5	5,2	4,0	5,0	1,5	4,6
Baryum (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Plomb ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1,7	<9,5
Zinc ( $\mu$ g/l)	5	8	95	5	5	1	300	10	2	120
Cuivre ( $\mu$ g/l)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	8,7	<2	<2	36
Vanadium ( $\mu$ g/l)	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Cadmium ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Argent ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Nickel ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Arsenic ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Antimoine ( $\mu$ g/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Mercuré ( $\mu$ g/l)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Manganèse ( $\mu$ g/l)	7	18	13	20	7	20	110	7	30	10
Cobalt ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<0,5
Sélénium ( $\mu$ g/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<0,5

Nota : Les analyses ont été effectuées par l'Institut Pasteur à Villeneuve d'Ascq.

Carte des teneurs en lithium des nappes du Calcaire carbonifère et de la craie

- LÉGENDE -

- Forage à la craie
- Forage au Calcaire carbonifère
- + Forage au Primaire (houiller ou Calcaire carbonifère)
- x x x x Frontière franco-belge
- 47 Teneur en lithium (en  $\mu\text{g/l}$ )
- 50 — Courbe d'isoteneur en  $\mu\text{g/l}$



Echelle: 1/250 000

Le fluor est un élément courant dans les eaux souterraines. En étudiant quelques aquifères calcaires de Lorraine, J. RIOUR et al., (1977) ont montré que sa géochimie semblait liée aux phénomènes d'échanges de bases en nappe captive : la teneur en fluor augmentant avec le degré de captivité de la nappe et le rapport  $\frac{rNa + rK}{rCa + rMg}$  viendrait alors du remplacement des ponts fluorés par des ponts hydroxyles dans les feuillets silicates des argiles.

On remarque (figure 24) que dans la région de Saint-Amand, les teneurs maximales en fluor sont mesurées sur les captages à la craie de l'établissement thermal. Un enrichissement en fluor des eaux du Calcaire carbonifère au contact des dièves du Turonien intermédiaire et moyen en est probablement la cause.

Comme pour le lithium, la zone des fortes teneurs couvre bien la bordure nord du bassin minier.

Pour le bore, on remarquera les teneurs généralement faibles des forages au Calcaire carbonifère et des forages à la craie de l'Etablissement thermal.

#### 4323 - Températures

La carte des températures mesurées sur l'eau à la sortie des forages après env. 20 m de pompage (figure 25) montre des anomalies importantes au niveau de l'établissement thermal où l'on distingue cependant 2 zones, une zone Nord chaude (24,5 à 26°C pour les forages Nouvel-Evêque-d'Arras et Vauban) et une zone Sud (14,8 à 15,5° pour les forages Amand et de l'Orée de la Forêt) où la température n'est que légèrement supérieure à la normale.

En dehors de cette zone on remarque des températures de 14°C à l'Hôpital de Saint-Amand et à Beuvry-la-Forêt (fabrique de cotons industriels).

La zone des températures supérieure à 12°C encadre bien la bordure nord du bassin minier.

#### 4324 - Etude des gaz dissous

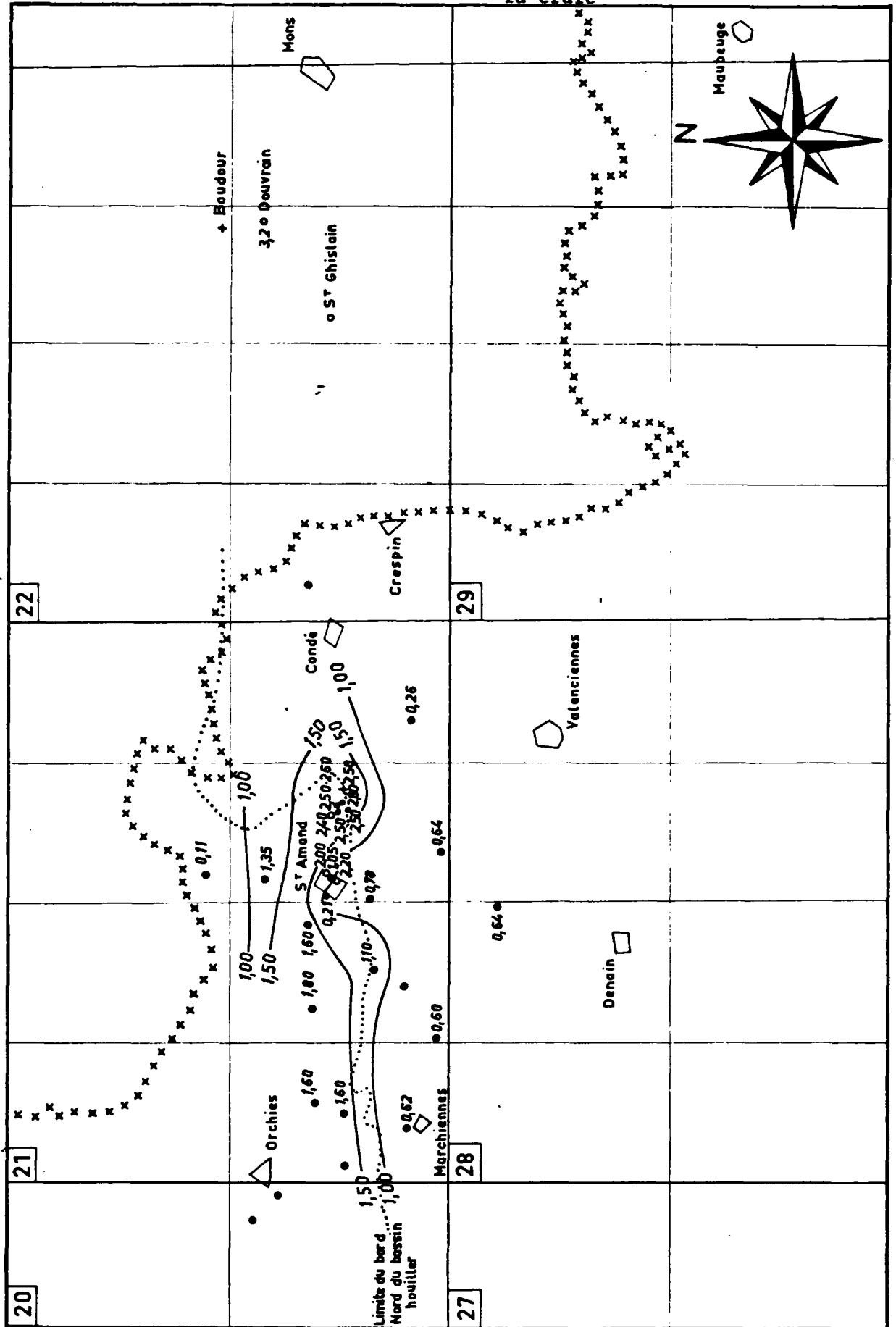
Six forages à la craie ont fait l'objet d'une recherche des gaz dissous par chromatographie en phase gazeuse. Les résultats figurent dans le tableau XVII ci-après.

Ces résultats indiquent une contamination de l'échantillon de Vauban par de l'air atmosphérique.

Carte des teneurs en fluor des nappes du Calcaire carbonifère et de la craie

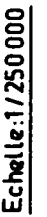
- LÉGENDE -

- Forage à la craie
- Forage au Calcaire carbonifère
- + Forage au Primaire (houiller ou Calcaire carbonifère)
- xxxxx Frontière franco-belge
- 135 Teneur en fluor (en mg/l)
- 1,50 — Courbe d'isoteneur pour la nappe de la craie



Echelle: 1/250 000

- Forage à la craie x x x x Frontière franco-belge
- Forage au Calcaire carbonifère 12,8 Température (en °C)
- ✦ Forage au Primaire (houiller ou — 12 — Courbe isotherme pour la nappe de la craie Calcaire carbonifère)



	CH <sub>4</sub> (X10 <sup>-5</sup> )	Ar (X10 <sup>-5</sup> )	O <sub>2</sub> (X10 <sup>-5</sup> )	N <sub>2</sub> (X10 <sup>-4</sup> )	CO <sub>2</sub> (X10 <sup>-4</sup> )
Brasserie du Corbeau	0	1,64	16,2	7,33	5,07
Warlaing	2,56	1,66	3,14	9,48	12,3
Saint-Amand Hôpital	9,79	1,63	8,9	8,49	6,34
Nouvel-Evêque d'Arras	8,96	1,69	4,2	12,7	6,05
Vauban 54	11,0	15,3	292	127	10,1
Vauban 62	4,24	1,41	13,8	6,21	5,37

Tableau XVII : Analyse de gaz dissous en mole/kg d'eau sur les forages à la craie.

C'est le forage Nouvel-Evêque-d'Arras qui possède la plus forte teneur en méthane, en argon et en azote ; par contre l'oxygène et le gaz carbonique sont parmi les plus faibles concentrations. La présence à dose appréciable des gaz rares de l'atmosphère ne sont le fait que des forages de l'Etablissement thermal et le captage d'AEP de l'hôpital de Saint-Amand. Ces faits peuvent témoigner d'une activité bactérienne anaérobie (production de CH<sub>4</sub>) en milieu réducteur.

#### 44 - Hydrogéochimie isotopique

En fonction des résultats attendus des analyses isotopiques, nous avons travaillé avec deux isotopes radioactifs instables ; le Tritium et le Carbone 14, destinés à dater l'eau captée dans la région de Saint-Amand, et quatre isotopes stables (oxygène 18, carbone 13, deutérium et soufre 34) susceptibles de mettre en évidence les provenances différentes des eaux captées par les abondances isotopiques relatives entre isotopes rares et communs.

##### 441 - Les isotopes stables

En 1947, UREY montre que les variations de composition isotopiques des éléments peuvent résulter d'un "fractionnement isotopique" caractéristique de l'environnement de ces éléments comme de leur histoire. Ce fractionnement isotopique naturel n'aboutit jamais à une grande variation de composition ; la concentration en isotope lourd (généralement le moins abondant) est d'ailleurs très faible et les analyses consistent à mesurer les variations faibles d'une quantité elle-même petite. Comme les techniques de spectrométrie de masse ne permettent pas d'effectuer des mesures absolues avec suffisamment de précision, on procède par mesures relatives, c'est-à-dire que les mesures sur échantillons sont faites par rapport à un "étalon" de référence. On définit ainsi une valeur "delta" ( $\delta$ ) telle que :

$$\delta = \frac{(R_{\text{échantillon}} - R_{\text{étalon}})}{R_{\text{étalon}}} \times 1000$$

avec  $R = \frac{\text{concentration de l'espèce isotopique lourde}}{\text{concentration de l'espèce isotopique légère}}$

si  $\delta$  est positif, il y a enrichissement en isotope lourd, et inversement, si  $\delta$  est négatif, il y a appauvrissement.

En hydrogéologie, les isotopes stables que l'on utilise actuellement sont le deutérium, l'oxygène 18, le carbone 13, le soufre 34 et l'azote 15 (tableau XVIII). Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisés les quatre premiers isotopes.

#### 4411 - Oxygène 18 et deutérium (Tableau XIX)

Il est maintenant bien établi que les précipitations, en régime océanique tempéré, qui n'ont pas subi d'évaporation obéissent à la relation :

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

Sur cette droite des eaux météoriques appelée droite de CRAIG ou de DANSGAARD, ont été alignés les points représentatifs de la nappe du Calcaire carbonifère et de la nappe de la craie (figure 26).

On remarque l'alignement de deux familles de points, cette classification reprenant celle déjà évoquée pour les eaux du Calcaire carbonifère à savoir : source du Clos<sup>(1)</sup>, source Saint-Blaise<sup>(4)</sup>, d'une part, Jardin d'enfants<sup>(9)</sup>, source des Chômeurs<sup>(8)</sup>, d'autre part ; ces points s'écartent de l'alignement général accompagné de l'Orée du bois<sup>(11)</sup> et Nouvel-Evêque-d'Arras<sup>(10)</sup>. Les eaux du Calcaire carbonifère sont appauvries par rapport à celles de la nappe de la craie, qui représente les eaux actuelles et donc les conditions atmosphériques de précipitations ayant fourni l'eau de la nappe du Carbonifère sont différentes de l'époque actuelle ; on note également le mélange des eaux du calcaire et des eaux de la craie au niveau de l'Etablissement thermal et du forage Nouvel-Evêque-d'Arras en particulier.

#### 4412 - Le carbone 13

L'abondance isotopique du carbone 13 a été dosée dans quatre formes carbonées : le CO<sub>2</sub> dissous, les ions bicarbonatés HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, le CO<sub>2</sub> libre gazeux et le CH<sub>4</sub> gazeux.

L'équilibre gaz carbonique dissous-bicarbonates permet, à partir des analyses du <sup>13</sup>C, de déterminer l'origine du carbone dans le milieu aqueux (figure 27). Ainsi les points caractéristiques de la relation  $\delta^{13}C (CO_2aq) = (\delta^{13}C [HCO_3aq])$  sont tous compris dans un domaine (B) caractéristique d'un carbone d'origine biogénique (assimilation du CO<sub>2</sub> d'origine atmosphérique) ; les autres domaines concernant le carbone d'origine volcanique (M) ou sédimentaire (S) ; ici également, la distinction est nette entre l'ensemble (source du Clos, source Saint-Blaise), soit (1) et (4) sur la figure 27 et l'ensemble (Jardin d'enfants, source des Chômeurs), (8) et (9) auxquels s'associe la plupart des eaux provenant de la craie.

TABLEAU XVIII  
CARACTERISTIQUES DES ISOTOPES UTILISES EN HYDROGEOLOGIE

ISOTOPE	ISOTOPES STABLES				ISOTOPES RADIOACTIFS	
	$^2\text{H}(\text{D})$	$^{18}\text{O}$	$^{13}\text{C}$	$^{34}\text{S}$	$^3\text{H}(\text{T})$	$^{14}\text{C}$
Forme moléculaire	$\text{H}_2\text{O}$ liquide, solide ou vapeur	$\text{H}_2^{18}\text{O}$ liquide, solide ou vapeur	$^{13}\text{CO}_2$ , $^{13}\text{CO}_3^{--}$ , $^{13}\text{CO}_2$ , $^{13}\text{CO}_3\text{Ca}$	$^{34}\text{SO}_4^{--}$ , $^{34}\text{SH}_2$ , $^{34}\text{SO}_4\text{Ca}$	$\text{HTO}$ liquide, solide ou vapeur	$^{14}\text{CO}_2$ , $^{14}\text{CO}_3^{--}$ , $^{14}\text{CO}_2$ , $^{14}\text{CO}_3\text{Ca}$
Unité de mesure	$\delta \text{‰} \quad R = \frac{[D]}{[H]}$ (1)	$\delta \text{‰} \quad R = \frac{[^{18}\text{O}]}{[^{16}\text{O}]}$ (1)	$\delta \text{‰} \quad R = \frac{[^{13}\text{C}]}{[^{12}\text{C}]}$ (1)	$\delta \text{‰} \quad R = \frac{[^{34}\text{S}]}{[^{32}\text{S}]}$ (1)	U.T.	%
Période (années)	/	/	/	/	12,26	5 730
Standard	SMOW (2)	SMOW (2)	P.D.B. (3)	C.D. (4)	1 U.T. = $\frac{^3\text{H}}{^2\text{H}} \cdot 10^{-10}$	Acide oxalique N.B.S. (5)
Valeur du standard	$R = 158 \cdot 10^{-6}$	$R = 1\,993,4 \cdot 10^{-6}$	$R = 11\,237,2 \cdot 10^{-6}$	$R = 45\,004,5 \cdot 10^{-6}$	1 U.T. = $7,28 \cdot 10^{-5}$ dpm/ml 1 U.T. = $3,28 \cdot 10^{-3}$ pCi/ml	$1,176 \cdot 10^{-6}$ 13,56 dpm/g de C
Variations naturelles dans les eaux	+ 30 ‰ à - 150 ‰	+ 5 ‰ à - 20 ‰	+ 1 ‰ à - 30 ‰	+ 30 ‰ à - 30 ‰	Naturel : 10 à 20 U.T. Thermonucléaire : 20 à 1 000 U.T.	Naturel : < 85 % Thermonucléaire : > 85 %

$$(1) \quad \delta \text{‰} = \left[ \frac{R_{\text{ECHANTILLON}} - R_{\text{STANDARD}}}{R_{\text{STANDARD}}} \right] 1000$$

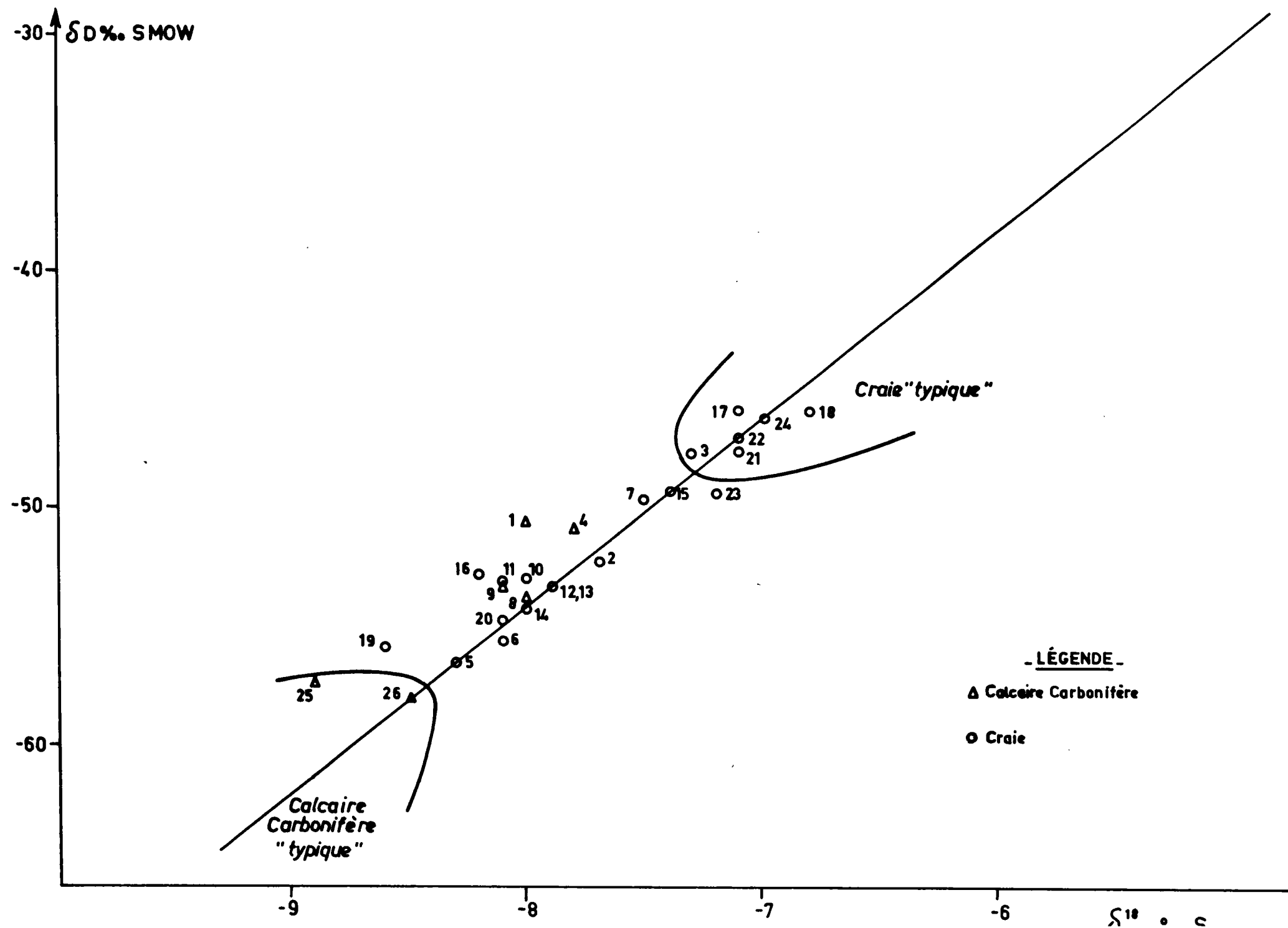
(2) SMOW : STANDARD MEAN OCEAN WATER

(3) PDB : Bélemnite américaine du Crétacé de la Pee Dee formation, Caroline du Sud (U.S.A.)

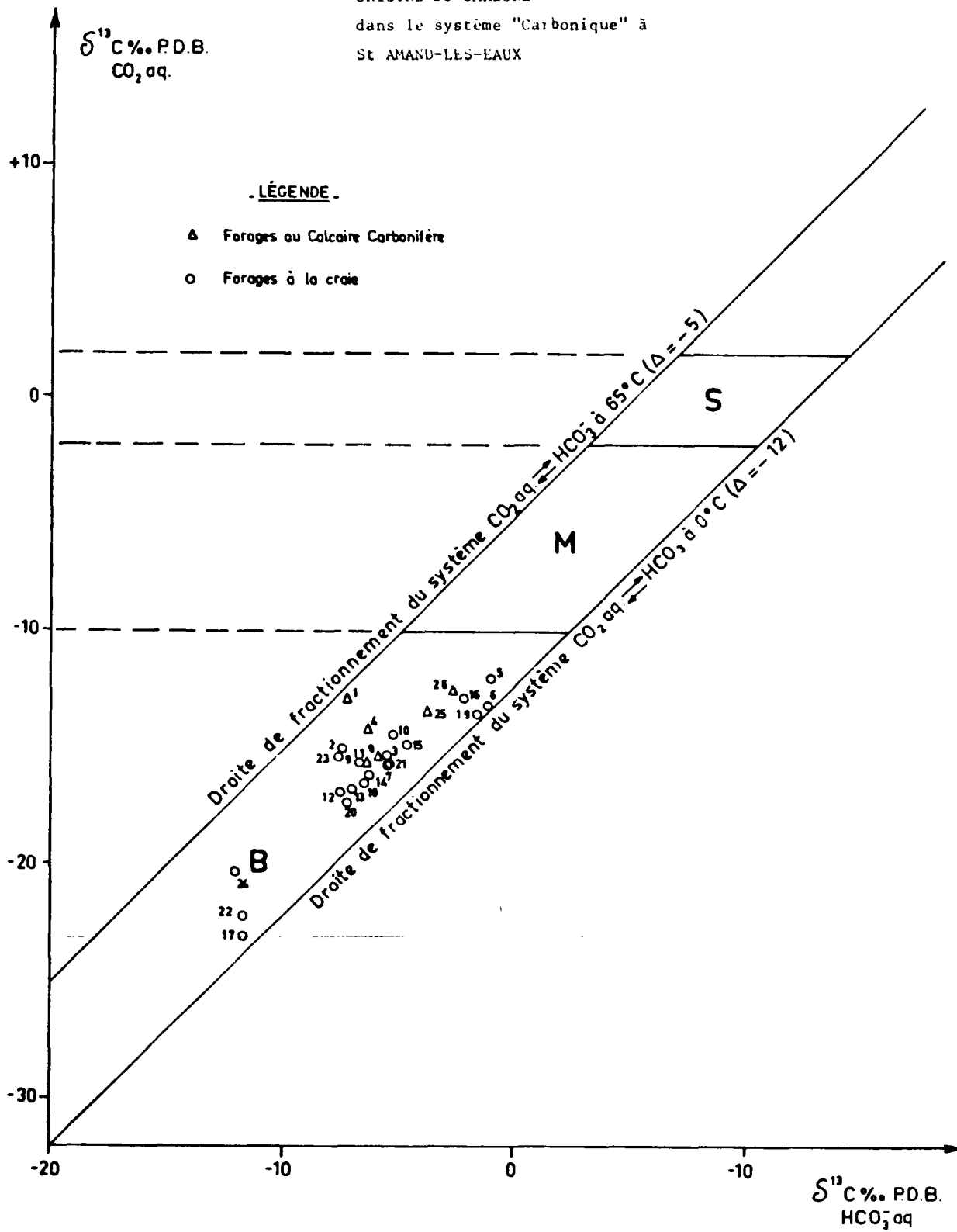
(4) C.D. : Troilite (FeS) de la météorite du CANYON DIABLO (U.S.A.)

(5) N.B.S. : National bureau of Standards (U.S.A.)

[illegible]



ORIGINE DU CARBONE  
dans le système "Carbonique" à  
St AMAND-LES-EAUX



Cette remarque est peut-être l'amorce d'une distinction plus profonde entre plusieurs systèmes aquifères du Calcaire carbonifère.

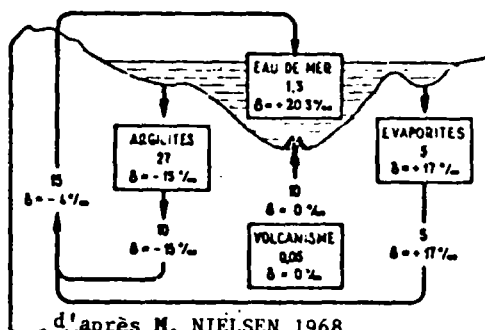
#### 4413 - Le soufre des sulfates

Les isotopes du soufre les plus courants et donc les plus facilement mesurables sont le soufre 32 "léger" (95 %) et le soufre 34 "lourd" (4,2 %). La recherche du delta  $^{34}\text{S}$  des sulfates contenus dans l'eau est effectuée sur l'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ) obtenu par réduction de ces sulfates en sulfures et grillage de ces derniers dans un excès d'oxygène.

La composition isotopique du soufre est utilisée en géologie pour caractériser le soufre naturel sous différentes combinaisons et afin d'interpréter son origine (THODE ; 1949, HOLSER et al. ; 1966, LOWE et al. ; 1971, BERTOLAMI et al. ; 1973). Dans le domaine sédimentaire, il y a généralement un enrichissement en soufre 34 dans la forme oxydée (sulfates) et un appauvrissement dans la forme réduite (sulfures). Les variations correspondent aux effets du fractionnement isotopique résultant des divers processus physico-chimiques et biologiques qui ont eu lieu au cours de l'histoire géologique des dépôts et principalement l'activité réductrice des bactéries, telle *Désulfuvibrio Désulfuricans*.

La figure 28 schématise le cycle géochimique du soufre avec son évolution isotopique. On remarque que le soufre volcanique possède un delta nul : de même, les météorites ont un delta nul représentatif du soufre non affecté par des fractionnements isotopiques. L'étalon international de référence a été choisi en fonction de cette particularité : c'est la troïlite de la météorite du Canyon Diablo (U.S.A.).

FIGURE 28 : CYCLE GEOCHIMIQUE DU SOUFRE SEDIMENTAIRE



Cycle géochimique du soufre sédimentaire. Les principaux réservoirs de soufre sont indiqués par des rectangles avec leur tonnage en S en  $10^{15}$  tonnes, et leur teneur isotopique moyenne. Sur les différents circuits figurent les transferts annuels de S en  $10^{15}$  tonnes, ainsi que les teneurs isotopiques moyennes.

L'origine du soufre des sulfates dissous dans les eaux superficielles ou souterraines peut donc être naturelle ou signe d'une pollution. 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 ( $\delta$  très négatif et concentration faible en sulfates), du lessivage d'évaporites ( $\delta$  positif et minéralisation sulfatée forte), ou enfin de la mise en solution du gypse d'origine diagénétique ( $\delta$  négatif et minéralisation moyenne en sulfates). Par contre, la pollution de l'eau par des sulfates en solution est accidentelle et peut provenir de sources diverses ; il s'agit alors d'étudier les causes supposées de pollution, puis de comparer les résultats aux analyses de l'eau. On peut ainsi établir un tableau rassemblant les données relatives aux éléments pouvant minéraliser une nappe (figure 29).

- Nappe du Calcaire carbonifère  
.....

Les delta  $^{34}\text{S}$  ( $\text{SO}_4$ ) des 3 forages au Calcaire carbonifère (tableau XVII) sont fortement positifs et varient entre +12,9 au forage du Jardin d'enfants à l'Etablissement thermal et +14,8 au forage des Etablissements DEVAUX (source Saint -Blaise), le forage de la source du Clos ayant un delta  $^{34}\text{S}$  de +13,5. Le forage de la source des Chômeurs (Primaire indéterminé mais houiller probable) a un delta  $^{34}\text{S}$  légèrement supérieur de +15,4, identique à celui du forage de ST-CHISLAIN.

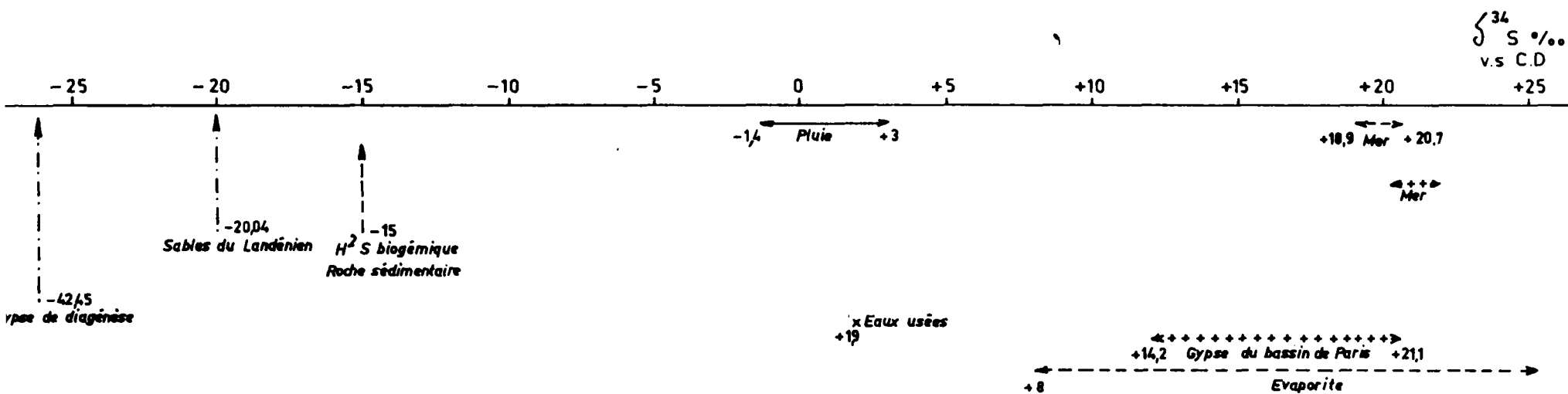
Toutes ces valeurs sont proches du delta  $^{34}\text{S}$  moyen des sulfates des évaporites qui est de +17 selon M. NIELSEN (figure 28) et confirment donc la parenté des eaux de la région de Saint-Amand et de Saint-Chislain ; sondage dans lequel ont été rencontrées des formations évaporitiques (anhydrite).

Une publication récente de M. R. LANGGUTH et M. NIELSEN qui ont analysé les anhydrites du sondage de St-Chislain donne deux valeurs pour le  $^{34}\text{S}$  des anhydrites :

- + 12,2% (à 2370,6 m de profondeur)
- + 15,3% (entre 1960 et 2490 m de profondeur).

Ils ont également effectué une analyse sur l'eau des tunnels de Baudour qui donne un  $\delta$   $^{34}\text{S}$  de +16,3‰.

Une analyse effectuée sur des pyrites récupérées lors du forage de la source du Clos en 1974 a donné un delta  $^{34}\text{S}$  du soufre de -40,4.



DELTA DE SOUFRE 34 EN FONCTION DES ORIGINES

100

- Références utilisées -

- BERGER 1977
- H.G. THODE
- Etude Cambrésis
- BOSCH et al.

- Nappe de la craie  
.....

On remarque que tous les forages de l'Etablissement thermal ont un delta  $^{34}\text{S}$  compris entre +15,1 et 15,8, associé aux fortes teneurs en sulfates; ces eaux proviennent donc du Calcaire carbonifère (figure 30) sous-jacent.

En dehors de ce secteur, seul le forage de la Brasserie du Corbeau à Lecelles a un delta  $^{34}\text{S}$  voisin de ces valeurs (+13,4) et l'eau provient donc aussi du Calcaire carbonifère en majeure partie.

On remarque ensuite une décroissance du delta  $^{34}\text{S}$  vers l'Ouest de +7 au forage du SIDEN à Millonfosse à -6,2 au forage de la Société SOA<sup>+</sup> à Beuvry et des valeurs négatives au Sud de -4,4 à la fosse Sabatier à Raismes à -21,9 à Marchiennes.

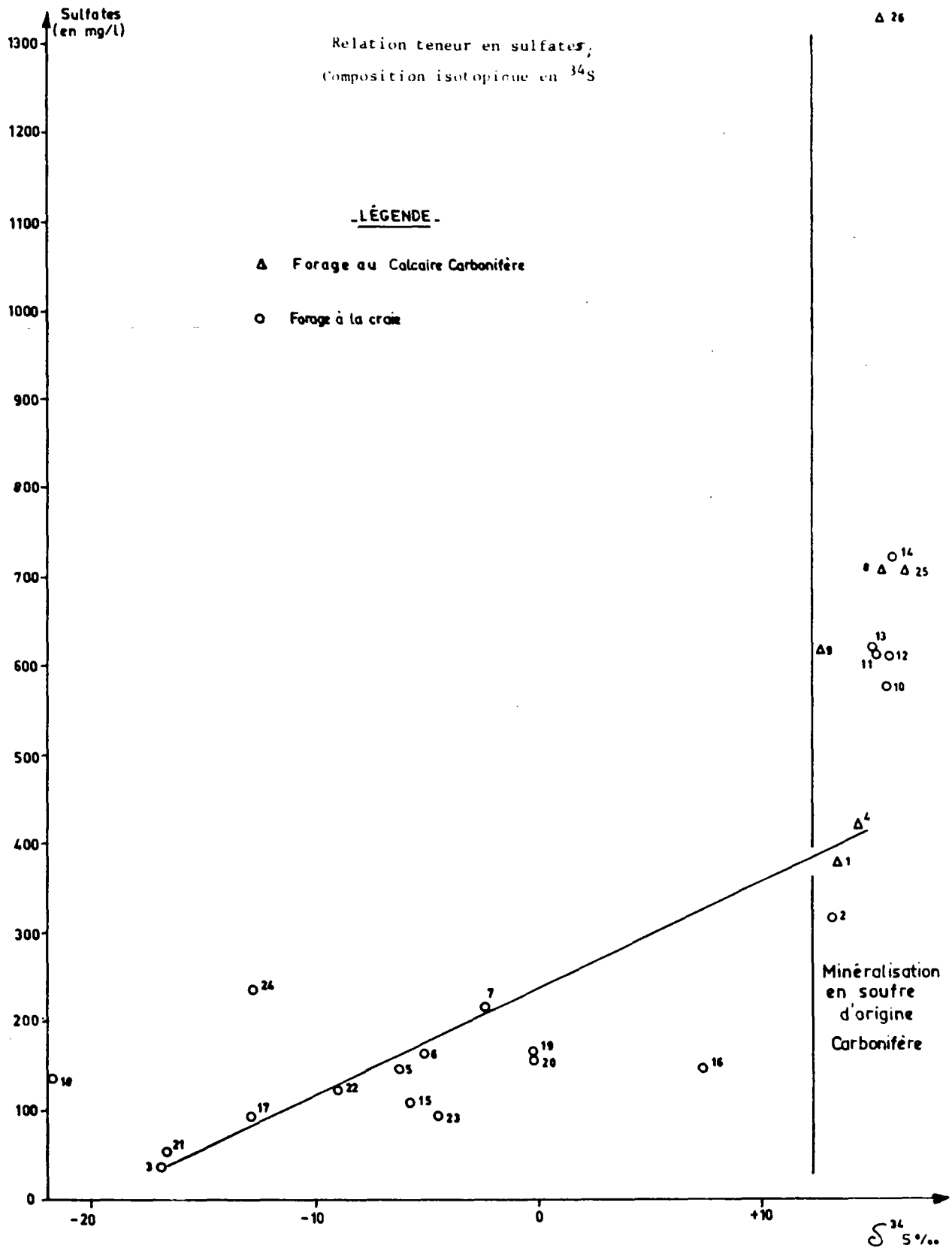
Par ailleurs, il a été échantillonné les sédiments tertiaires surimposés à la craie et analysé les isotopes du soufre (résultats donnés dans la figure 31), et prélevé de l'eau dans 2 forages captant la nappe de la craie sous le recouvrement tertiaire (voir annexe VI). L'analyse isotopique a donné les résultats ci-après :

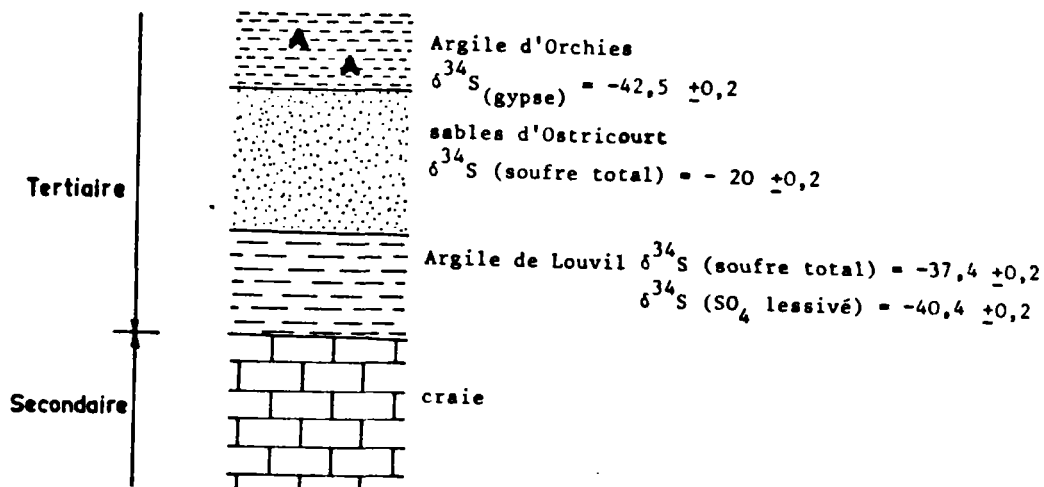
Indice national	Nom du prélèvement	$\delta^{34}\text{S}$ ( $\text{SO}_4^{--}$ )	Teneur en tritium	Teneur en $\text{SO}_4$ mg/l
20-6-36	Evin-Malmaison	-32,7 $\pm$ 0,2	1 U.T.	81
20-2-101	Libercourt	-18,1 $\pm$ 0,2	4 U.T.	180

Les delta  $^{34}\text{S}$ , très appauvris en isotopes lourds d'Evin-Malmaison et Libercourt, 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. Il pourrait également s'agir d'eaux du Landénien, percolant à travers l'Argile de Louvil, se chargeant en soufre par dissolution du soufre en place ( $^{34}\text{S}$  de la lixiviation de l'Argile de Louvil : -40,4) et se mélangeant avec la nappe de la craie. Par ailleurs, ces forages ont une eau peu ou non tritiée, ce qui exclue les apports importants d'eaux récentes.

---

<sup>+</sup> SOA = Synthèse organique appliquée.





**Figure 31** :  $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$  de quelques sédiments tertiaires formant la couverture de la nappe de la craie

Les delta  $^{34}\text{S}$  intermédiaires de +7 à -6 en nappe captive entre St-Amand et Orchies seraient donc dus à un mélange d'eau de craie à delta fortement négatif et d'eau du Calcaire carbonifère à delta positif. Les eaux se trouvant au centre du synclinal d'Orchies à recouvrement tertiaire devraient donc montrer un delta  $^{34}\text{S}$  de l'ordre de -20 à -30 (on a déjà un delta  $^{34}\text{S}$  de -15 à WARLAING).

L'eau du Calcaire carbonifère alimenterait donc la nappe de la craie en bordure nord du bassin houiller et serait ensuite entraînée avec l'eau de la craie vers le centre de la cuvette synclinale d'Orchies.

Les teneurs anormalement élevées en sulfates (fig 19 - paragraphe 4321) relevées dans l'eau des forages captant la nappe de la craie dans le bassin d'Orchies proviendraient de l'apport d'eaux sulfatées de la nappe du Calcaire carbonifère de St-Amand jusqu'au Nord de Marchiennes en passant par Millonfosse ; en effet le sens d'écoulement de la nappe de la craie ne permet pas aux eaux de la région de St-Amand de s'écouler jusqu'au Nord de Marchiennes.

Il conviendrait toutefois de caractériser la nappe de la craie captive au centre du Bassin d'Orchies (forages de Bouvignies, Orchies, Auchy) et la nappe des Sables tertiaires de St-Amand à Marchiennes par une campagne d'analyses isotopiques complémentaire.

#### 442 - Les isotopes radioactifs

L'eau de pluie infiltrée est marquée dans sa molécule par le tritium naturel ou artificiel. De plus, elle peut constituer le vecteur d'autres radio-isotopes comme le carbone 14. Ces radio-isotopes naturels sont produits par action de la composante neutronique du rayonnement cosmique sur les constituants azotés de l'atmosphère. A cette production naturelle s'est ajoutée depuis 1952, l'injection du tritium et aussi de carbone 14 liée aux essais thermonucléaires aériens.

La datation des eaux souterraines est possible par la mesure de la décroissance d'un radio-isotope qui est donnée par la formule classique suivante :

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

$A_0$  est l'activité du radio-isotope dans l'atmosphère et  $A_t$  l'activité du radio-isotope dans l'eau souterraine. Le temps  $t$  qui s'est écoulé depuis l'infiltration, c'est-à-dire depuis l'isolement du réservoir atmosphérique, peut être calculé :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_0}{A_t}$$

La constante radioactive  $\lambda$  prend les valeurs suivantes :

$$\text{tritium} = 0,05653 \text{ an}^{-1}$$

$$\text{carbone 14} = 1,2449 \cdot 10^{-4} \text{ an}^{-1}$$

On évalue souvent le temps  $T$  (ou période radioactive) nécessaire pour que la décroissance diminue de moitié, soit :

$$\frac{A_0}{2} = A_0 e^{-\lambda T} \text{ et } T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Cette demi-vie varie très largement avec le radio-isotope considéré

$$\text{tritium} = 12,26 \text{ ans}$$

$$\text{carbone 14} = 5568 \text{ ans}$$

En fonction de cette période, l'utilisation des isotopes radioactifs en hydrogéologie permet l'étude des circulations d'eaux superficielles dont l'âge moyen est de quelques années (détermination par le tritium) et des circulations d'eaux profondes qui peuvent atteindre souvent quelques milliers d'années (détermination par le carbone 14).

#### 4421 - Le tritium .....

Le  $^3\text{H}$  est mesuré par scintillation liquide après enrichissement électrolytique. Les teneurs sont exprimées en UT ; 1 UT correspond à 1 atome de tritium par  $10^{18}$  atomes d'hydrogène.

Avant les essais thermonucléaires aériens (bombes H), les teneurs naturelles en  $^3\text{H}$  dans les précipitations étaient de l'ordre de 5 UT.

A la suite de ces essais, qui ont eu lieu au début des années 50, les pluies et les eaux de surface ont présenté des teneurs qui ont atteint 2000 à 3000 UT. Elles ont décru rapidement jusqu'en 1968 et oscillent maintenant autour de 100 UT.

Dans les eaux souterraines, ce  $^3\text{H}$  thermonucléaire indique la présence d'eaux récemment infiltrées, c'est-à-dire postérieures à 1950.

Les résultats des teneurs en tritium dans les eaux figurent sur le tableau XIX.

Différents types d'eaux peuvent être distingués :

##### a) Eaux riches en $^3\text{H}$ (34 à 79 UT) .....

Ce sont les eaux de la nappe de la craie prélevées au forage 3 (AEP de St-Amand), à Millonfosse, à Marchiennes, à l'Atelier de Galvanoplastie de Rosult et aux Etablissements DAVAINÉ. Ce sont donc des eaux actuelles bien que captées dans la nappe de la craie considérée comme captive dans ce secteur, sous le recouvrement tertiaire.

Toutefois, l'Argile de Louvil séparant la nappe des Sables d'Ostricourt de la nappe de la craie évolue progressivement vers un faciès sablo-gréseux (tuffeau) dans la région de Valenciennes : au niveau de ces forages, l'Argile de Louvil serait donc absente et la nappe des Sables d'Ostricourt en charge alimenterait la nappe de la craie déprimée par les pompages.

##### b) Eaux avec des teneurs comprises entre 6 et 16 UT .....

On retrouve dans ce groupe où la présence de tritium traduit un apport faible d'eaux actuelles, deux populations d'eaux :

- des eaux de la nappe de la craie :

- soit mieux protégées des infiltrations de la nappe des sables, par l'Argile de Louvil : Maulde,
- soit moins déprimées par les pompages (ceci réduit la drainance) Warlaing, forage 4 Arenberg, Lavoisier Rousseau, Sabatier.

Ces eaux ont un  $\delta^{34}\text{S}$  fortement négatif, ce qui est normal pour la nappe de la craie captive sous l'Argile de Louvil (voir fig 32)

- des eaux de la nappe de la craie, mélangées avec des eaux du Calcaire carbonifère : Brasserie du Corbeau, Hôpital de St-Amand.

Ces eaux ont un  $\delta^{34}\text{S}$  proche de 0 ou toujours positif, pouvant aller jusqu'à des valeurs identiques à celles relevées aux forages au Calcaire carbonifère pour le forage de la brasserie du Corbeau à Lecelles (cf. fig. 32).

c) Eaux peu tritiées ( $\leq 3$  UT)

Parmi celles-ci on trouve les eaux du Calcaire carbonifère : Source du Clos, St Blaise, Source des Chômeurs, Jardin d'Enfants, mais également des eaux présumées prélevées dans la nappe de la craie mais dont les températures, les caractères chimiques et isotopiques (teneur en sulfates, compositions isotopiques en O, D et S) indiquent qu'elles sont principalement alimentées par la nappe sous-jacente du Calcaire carbonifère (forages de l'Etablissement thermal de St-Amand). Les forages à la craie de Beuvry, au centre de la cuvette d'Orchies ont des eaux également anciennes probablement mélangées à des eaux en provenance du Calcaire carbonifère.

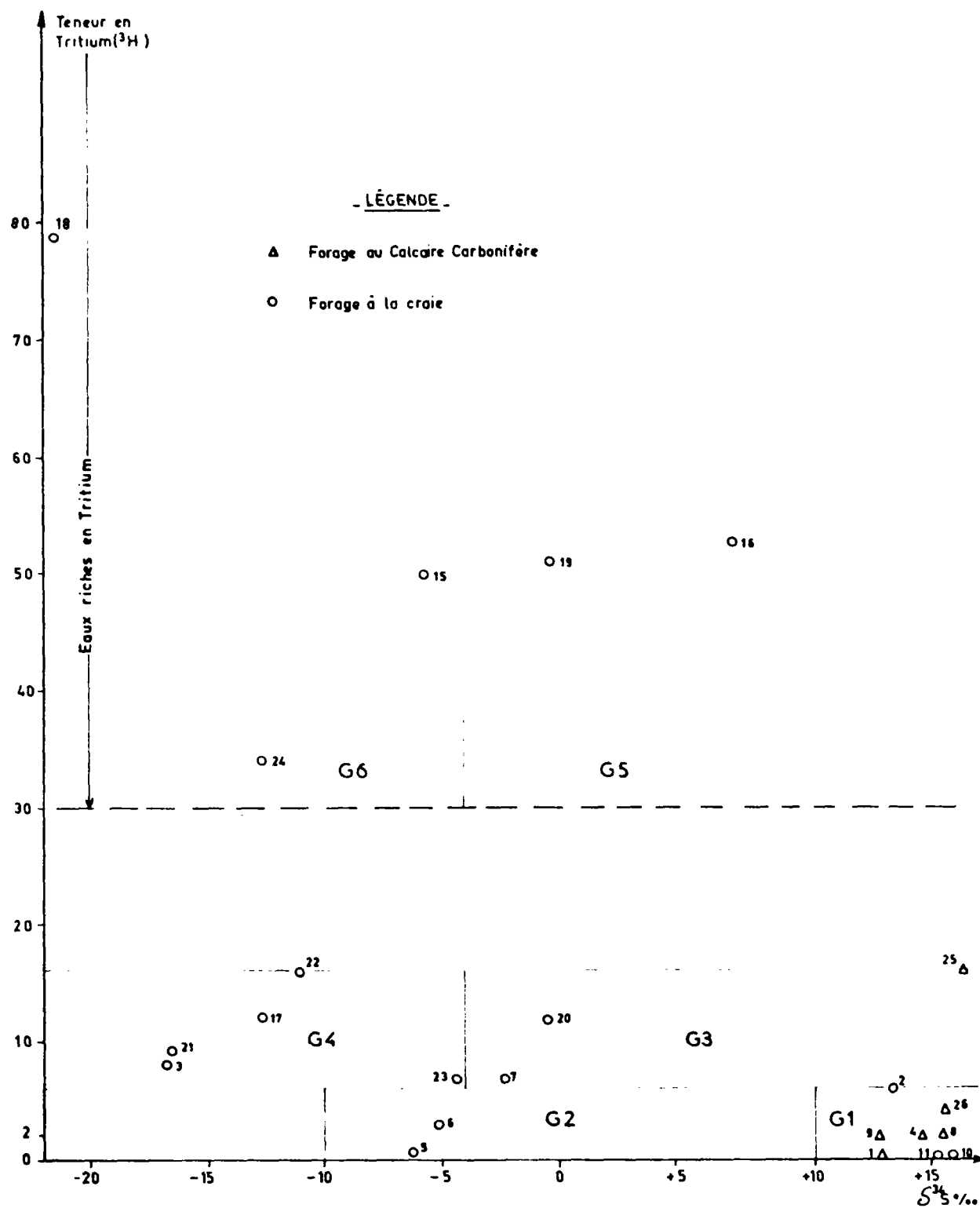
En conclusion, on peut donc distinguer les 6 groupes suivants d'eaux (cf. fig 32)

$$\text{- Groupe 1 : } \left\{ \begin{array}{l} \text{Teneur en tritium} \leq 6 \text{ UT} \\ \delta^{34}\text{S} > + 10\text{‰} \end{array} \right.$$

Eaux du Calcaire carbonifère ou eaux de forage à la craie mais provenant en presque totalité du Calcaire carbonifère sous-jacent.

L'eau du forage de Douvrain (25) ne figure pas dans ce groupe, la teneur en tritium étant de 18 UT vraisemblablement par suite d'une pollution en eau récente lors de la foration.

Relation teneur en tritium/ $\delta^{34}\text{S}$



- Groupe 2 :  $\begin{cases} \text{teneur en tritium} \leq 6 \text{ UT} \\ -10\% \leq \delta^{34}\text{S} < +10\% \end{cases}$

Eaux de la craie anciennes avec mélange d'eaux du Calcaire carbonifère.

Vers l'Ouest du bassin d'Orchies pour les mêmes teneurs en tritium, les eaux de la craie présentent en effet des deltas fortement négatifs.

- Groupe 3 :  $\begin{cases} \text{teneur en tritium} \leq 16 \\ -4\% \leq \delta^{34}\text{S} < +10\% \end{cases}$

Eaux de la craie mélangées avec des eaux du Calcaire carbonifère

- Groupe 4 :  $\begin{cases} \text{teneur en tritium} \leq 16 \\ \delta^{34}\text{S} < -1\% \end{cases}$

Ce sont les eaux typiques de la nappe de la craie captive sous recouvrement tertiaire

- Groupe 5 :  $\begin{cases} \text{Teneur en tritium} > 30 \\ \delta^{34}\text{S} > -4\% \end{cases}$

Ce sont les eaux de la nappe de la craie subissant un mélange à la fois avec les eaux de la nappe des Sables d'Ostricourt et de la nappe du Calcaire carbonifère, puisqu'elles sont récentes et ont des  $\delta^{34}\text{S}$  élevés.

- Groupe 6 :  $\begin{cases} \text{Teneur en tritium} > 30 \\ \delta^{34}\text{S} < -4\% \end{cases}$

Ce sont les eaux de la nappe de la craie mélangées avec les eaux de la nappe des Sables d'Ostricourt puisqu'elles sont très récentes.

4422 - Le carbone  $^{14}$   
.....

La mesure du  $^{14}\text{C}$  nécessite près de 5 grammes de carbone soit 50 à 100 litres d'eau suivant l'alcalinité. Le carbone minéral dissous a donc été précipité sur place. On amène l'eau à un pH  $\approx 10$  puis on entraîne la précipitation des carbonates sous forme de  $\text{BaCO}_3$ , on obtient du  $\text{CO}_2$ . Une aliquote de  $\text{CO}_2$  est prélevée pour la mesure du  $^{13}\text{C}$  qui sert aux corrections d'âge. Ensuite dans un four à  $600^\circ$ , en présence de Li, le  $\text{CO}_2$  donne du carbure de lithium. Ce carbure est transformé en acétylène ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) par addition d'eau distillée. Enfin, on réalise la trimérisation de l'acétylène pour aboutir au benzène ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ).

L'activité de ce benzène est mesurée par comptage en scintillation liquide.

. Activité en  $^{14}\text{C}$ 

En désignant par  $A_0^{14}$  l'activité initiale  $^{14}\text{C}$  du carbone dissous au moment où l'eau s'infiltre, par  $A_t^{14}$  l'activité au moment du prélèvement, le temps  $t$  qui s'est écoulé est égal à :

$$t = 8033 \ln \frac{A_0^{14}}{A_t^{14}}$$

En posant  $A_0^{14} = 100\%$ , cette formule donne à partir de  $A_t^{14}$  mesuré un âge dit "conventionnel".

Pour les 3 sources de Saint-Amand où ces mesures ont été faites, nous avons obtenu les résultats suivants :

	$\delta^{13}\text{C}_\text{o}/\text{o}_\text{o}$ vs PDB	$A_t^{14}$ en % de carbone moderne	Age conventionnel en années BP
Source du Clos	$-10,4 \pm 0,1$	$30,1 \pm 0,5$	$9650 \pm 160$
Source Jardin d'enfants	$-9,3 \pm 0,1$	$23,3 \pm 0,2$	$11700 \pm 85$
Source St Blaise	$-9,1 \pm 0,1$	$29,9 \pm 0,3$	$9700 \pm 85$

### Corrections d'âge $^{14}\text{C}$ pour les eaux souterraines

Les processus d'introduction du  $^{14}\text{C}$  atmosphérique dans les eaux souterraines sont complexes (cf. figures 33 et 34).

Pour le gaz carbonique de l'air ainsi que pour les végétaux et l'humus du sol, la teneur en  $^{14}\text{C}$  avant les explosions thermonucléaires aériennes (1950 = BP) a été fixée à 100% ( $A_0^{14}$ ). La composition isotopique  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  des plantes appauvrie par rapport à celle du  $\text{CO}_2$  atmosphérique est de l'ordre de  $-25\text{‰}$  à  $-27\text{‰}$  pour les végétaux dont le cycle photosynthétique, le plus fréquent, est du type CALVIN, et de  $-12\text{‰}$  pour les végétaux, dont le cycle photosynthétique est du type HATCH et SLACK (fréquent dans les pays arides).

A la surface du sol, le rôle des racines et des microorganismes détermine une teneur élevée en gaz carbonique dissous par les eaux d'infiltration. Le carbonate de calcium de la zone non saturée dépourvu de  $^{14}\text{C}$  et avec une composition isotopique en  $^{13}\text{C}$  voisine de zéro est dissous par ces eaux d'infiltration sous forme de bicarbonate de calcium selon la réaction suivante :

	$\text{CaCO}_3$	+	$\text{CO}_2$	+	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$	$2\text{HCO}_3^-$	+	$\text{Ca}^{++}$
Activité $^{14}\text{C}$	0		100 %				50 %		
$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	$\sim 0$		$\sim -25 \text{‰}$				$\sim -12,5 \text{‰}$		
Domaine d'origine	(S)		(B)				(B)		

(cf. figure n° 33)

Par suite d'un échange isotopique entre les bicarbonates et le  $\text{CO}_2$  de l'humus, la teneur en  $^{14}\text{C}$  des eaux récentes, non affectées par les explosions thermonucléaires, est de l'ordre de 85% avec une composition isotopique en  $^{13}\text{C}$  de  $-17\text{‰}$  (VOGEL, 1963 et 1970).

D'éventuels échanges peuvent se produire (cf. figure 34) soit avec les carbonates du réservoir aquifère, dépourvus de  $^{14}\text{C}$  provoquant une diminution de la teneur en  $^{14}\text{C}$  et un enrichissement en  $\delta^{13}\text{C}$  - soit avec des matières organiques fossiles provoquant également une diminution de la teneur en  $^{14}\text{C}$  et un appauvrissement en  $\delta^{13}\text{C}$ .

Les eaux actuelles, correspondent à des recharges postérieures aux explosions thermonucléaires, auront par contre des teneurs en  $^{14}\text{C}$  supérieures à 85% avec présence de tritium en fortes teneurs.

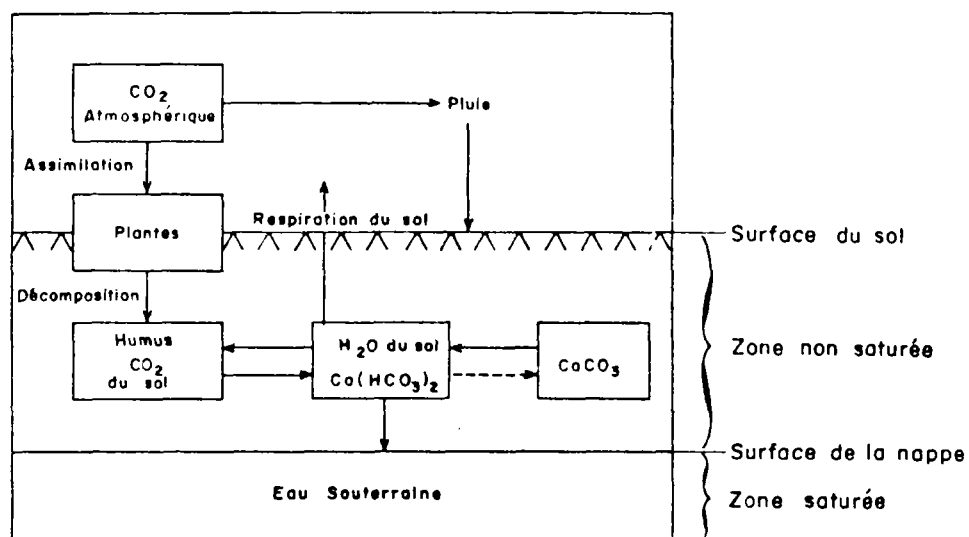


Fig.33- Schéma du processus d'introduction du  $^{14}\text{C}$  dans les eaux souterraines.

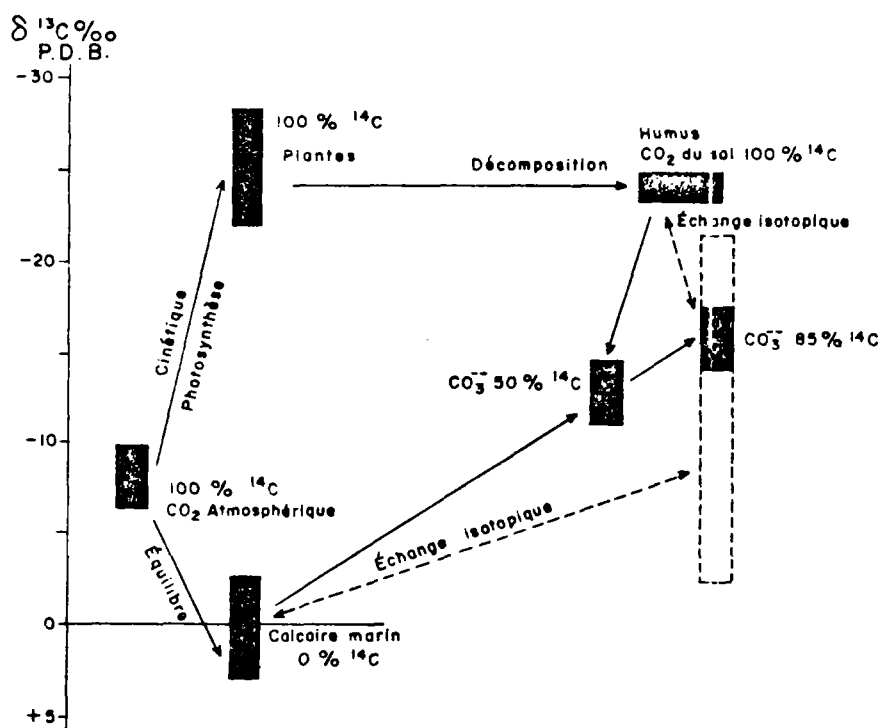


Fig.34- Processus affectant la teneur en  $^{14}\text{C}$  et la composition isotopique  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  des carbonates dissous dans l'eau.

La difficulté essentielle dans la mesure de l'âge d'une eau souterraine par radio-carbone réside dans l'évaluation de ces différents échanges qui permettent le calcul de l'activité initiale en  $^{14}\text{C}$  du carbone total dissous :  $A_{\text{O}}^{14}\text{CT}$

Différents modèles de corrections sont proposés pour retrouver l'activité initiale  $A_{\text{O}}^{14}$ . Ils sont de 3 types :

- correction statistique
- correction chimique
- correction mixte chimique et isotopique

#### . Corrections statistiques

Si nous reprenons le modèle de base défini plus haut et s'appuyant sur un équilibre stoechiométrique théorique qui donnerait pour les bicarbonates dissous une moyenne isotopique entre les 2 constituants majeurs à l'origine de ces bicarbonates : c'est-à-dire le  $\text{CO}_2$  dissous de la zone non saturée (CB) et le carbone minéral (CM) des carbonates de l'encaissant.

Le carbone dissous (CT) des bicarbonates provient pour  $p$  parties du carbone biologique (CB) du sol et pour  $(1 - p)$  parties du carbone minéral (CM) des carbonates de l'aquifère :

$$\text{CT} = p \text{ CB} + (1 - p) \text{ CM}$$

Pour le  $^{14}\text{C}$ , cette équation devient :

$$A_{\text{O}}^{14}\text{CT} = p A_{\text{O}}^{14}\text{CB} + (1 - p) A_{\text{O}}^{14}\text{CM}$$

avec  $A_{\text{O}}^{14}\text{CB} = 100\%$  de carbone moderne et  $A_{\text{O}}^{14}\text{CM} =$  activité nulle du calcaire de l'encaissant donc :

$$A_{\text{O}}^{14}\text{CT} = 100p$$

De même pour le  $^{13}\text{C}$ , il vient :

$$\delta^{13}\text{CT} = p \delta^{13}\text{CB} + (1 - p) \delta^{13}\text{CM}$$

$\delta^{13}\text{CB}$  est posé égal à  $-25^{\circ}/\text{oo}$  et  $\delta^{13}\text{CM} \approx 0$ , donc

$$\delta^{13}\text{CT} = p \delta^{13}\text{CB} = -25p$$

VOGEL (1963, 1970) propose à la suite d'une étude statistique d'adopter pour  $p = 0,85$  donc une activité  $A_{\text{O}}^{14}\text{CT}$  de 85%. Cette activité caractérisée des eaux actuelles dont le

$\delta^{13}\text{C}$  serait de  $17^{\circ}/\text{oo}$  soit une valeur de  $p = 0,68$ .

La différence entre la composition isotopique en  $^{13}\text{C}$  théorique de -17 et celle réellement mesurée sur les bicarbonates (CT) traduit un écart à l'équilibre stoechiométrique et PEARSON et HANSHAW (1970) l'utilisent pour calculer l'activité initiale  $A_0$  en  $^{14}\text{C}$  du carbone dissous au moment de l'infiltration :

$$A_0 = 100 \times \delta \frac{^{13}\text{CT}}{^{13}\text{CB}} = 100 \frac{\delta^{13}\text{CT}}{-25} = -4 \delta^{13}\text{CT}$$

A la suite de ces auteurs, MARCÉ (1978) propose une correction statistique pour l'âge  $^{14}\text{C}$  en années qui tient compte du  $A_0$  et du  $\delta^{13}\text{CT}_0$  de VOGEL :

$$t = 8033 \cdot h \left( \frac{A_0}{A_t} \times \frac{\delta^{13}\text{CT}}{\delta^{13}\text{CT}_0} \right) \quad \text{avec } A_0 = 85\% \text{ et } \delta^{13}\text{CT}_0 = -17\text{‰}$$

Pour les 3 mesures  $^{14}\text{C}$  faites sur les sources de Saint-Amand, ces différentes corrections donneraient les résultats suivants :

ECHANTILLON	VOGEL		PEARSON et al		MARCÉ	
	$A_0$	Age corrigé	$A_0$	Age corrigé	$A_0$	Age corrigé
Source du Clos	85%	8340 ans	41,6%	2600 ans	52%	4400 ans
Source Jardin d'enfants	85%	10400 ans	37,2%	3760 ans	46,5%	5550 ans
Source St Blaise	85%	8400 ans	36,4%	1580 ans	45,5%	5380 ans

La critique principale que l'on puisse faire sur tous ces modèles est qu'ils traduisent des mélanges plutôt que des échanges isotopiques.

#### . Correction chimique

Elle repose sur le bilan du carbone qui pour les eaux de Saint-Amand s'établit ainsi :

#### BILAN CARBONE (en mole/kg d'eau)

ECHANTILLON	température	pH	$\text{CO}_2$ dissous $\times 10^{-4}$	$\text{HCO}_3^-$ dissous $\times 10^{-3}$	$\text{CT} = \text{CO}_2 + \text{HCO}_3^-$ dissous $\times 10^{-3}$
Source du Clos	19°	7,0	8,16 (1)	5,36	6,176
Source Jardin d'enfants	22°	6,9	9,45	5,11	6,055
Source St Blaise	17°	7,0	8,16	5,36	6,176

(1) Le prélèvement ayant été perdu, le  $\text{CO}_2$  dissous a été pris égal à celui de la source St Blaise. Une nouvelle analyse sera faite sur la source du Clos pour contrôler ce résultat.

Pour ce genre de correction qui utilise les données chimiques du bilan carbone, TAMERS (1975) part du principe que la moitié des bicarbonates proviennent des calcaires de l'aquifère soit :

$$CM = \frac{mHCO_3^-}{2}$$

il en résulte que :

$$CB = CT - CM = CO_2 + HCO_3^- - \frac{HCO_3^-}{2} = CO_2 + \frac{HCO_3^-}{2}$$

le facteur de correction p, c'est-à-dire le pourcentage de carbone biogénique dans le carbone total devient :

$$p = \frac{CB}{CT} = \frac{CO_2 + \frac{HCO_3^-}{2}}{CO_2 + HCO_3^-}$$

Cette nouvelle correction donne pour les 3 sources de Saint Amand analysées en radio-carbone :

ECHANTILLON	p	Ao = 100p	Age <sup>14</sup> C corrigé en années
Source du Clos	0,566	56,6%	5075
Source Jardin d'enfants	0,578	57,8%	7300
Source St Blaise	0,566	56,6%	5130

La critique principale que l'on puisse faire sur le modèle de TAMERS est qu'il ne tient pas compte des échanges isotopiques qui se produisent entre les différents constituants en carbone du système.

#### . Correction isotopique

GONFIANTINI (1972) propose d'une façon plus réaliste de faire intervenir les échanges isotopiques.

Tout d'abord dans le sol, le bicarbonate s'équilibre avec le CO<sub>2</sub> biogénique

$$\delta^{13}HCO_3^- = \delta^{13}CB + 9,5$$

Ensuite la teneur en <sup>13</sup>C (et en <sup>14</sup>C) ne sera plus modifiée que par dissolution et/ou échange avec le calcaire du réservoir aquifère.

Si bien que le CT dissous ne comprendra p partie de  $\text{HCO}_3^-$  d'origine biogénique et  $(1 - p)$  partie de  $\text{HCO}_3^-$  d'origine minérale. Cette dernière partie est appauvrie de 1,5 ‰ par rapport au carbonate de l'encaissant qui est égal à zéro (carbonates marins).

L'équation s'écrit alors, en tenant compte des fonctionnements isotopiques qui ont lieu entre CT, CB et CM

$$\delta^{13}\text{CT} = p (\delta^{13}\text{CB} + 9,5 \text{ ‰}) + (1 - p) (\delta^{13}\text{CM} - 1,5 \text{ ‰})$$

d'où

$$p = \frac{\delta^{13}\text{CT} - \delta^{13}\text{CM} - 1,5}{\delta^{13}\text{CB} - \delta^{13}\text{CM} + 9,5}$$

soit, si  $\delta^{13}\text{CB} = -25$  et  $\delta^{13}\text{CM} = 0$

$$p = \frac{\delta^{13}\text{CT} - 1,5}{-25 + 9,5} = \frac{\delta^{13}\text{CT} - 1,5}{-15,5}$$

Pour les 3 exemples étudiés à St-Amand-les-Eaux, nous obtenons les résultats suivants :

ECHANTILLON	P	Ao = 100 p	Age $^{14}\text{C}$ corrigé en années
Source du Clos	0,767	76,7 %	7520
Source jardin d'Enfants	0,697	69,7 %	8800
Source St-Blaise	0,684	68,4 %	6650

Ce modèle est intéressant car il tient compte des échanges isotopiques entre les différentes sources de carbone mais on peut lui reprocher de s'appuyer sur le fait que les fractionnements isotopiques ont lieu à l'équilibre et de ne pas utiliser les données chimiques sur les différentes formes carbonées du système.

#### . Correction mixte : chimique et isotopique

Dans ce type de correction, interviennent les concentrations des différentes formes du carbone ainsi que les échanges isotopiques dont nous pouvons préciser les valeurs puisqu'ils ont été mesurés sur les différentes sources de St-Amand ( cf. fig 27)

$$\Delta = \delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^- \text{ dissous}) - \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2 \text{ gaz}) = -7,1 + 17,5 = +10,4 \text{ source du Clos}$$

$$\Delta = \delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^- \text{ dissous}) - \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2 \text{ gaz}) = -6,0 + 15,2 = +9,2 \text{ source jardin d'Enfants}$$

$$\Delta = \delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^- \text{ dissous}) - \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2 \text{ gaz}) = -6,2 + 16,9 = +10,7 \text{ source St-Blaise}$$

En tenant compte maintenant des données chimiques et isotopiques, nous passons en termes de bilans. Nous avons :

$$[\text{CT}] = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-]$$

en introduisant les compositions isotopiques en  $^{13}\text{C}$ , on obtient :

$$\text{CT} \delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \text{CO}_2 \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) + \text{HCO}_3^- \delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^-)$$

Au pôle biogénique, l'équation devient avec :

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) = \delta^{13}\text{C}(\text{CB}) = -25 \text{ ‰}$$

$$\delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^-) = \delta^{13}\text{C}(\text{CB}) + 10,4 = -14,6 \text{ ‰ source du Clos}$$

$$\delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^-) = \delta^{13}\text{C}(\text{CB}) + 9,2 = -15,8 \text{ ‰ source jardin d'Enfants}$$

$$\delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^-) = \delta^{13}\text{C}(\text{CB}) + 10,7 = -14,3 \text{ ‰ source St-Blaise}$$

D'où

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \frac{\text{CO}_2}{\text{CT}} \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) + \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{CT}} (\delta^{13}\text{C} \text{ HCO}_3^-)$$

en remplaçant les termes par leurs valeurs, il vient :

Source du Clos :

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \frac{0,816}{6,176} (-25) + \frac{5,36}{6,176} (-14,6) = -15,97 \text{ (pôle biogénique)}$$

Source Jardin d'Enfants :

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \frac{0,945}{6,055} (-25) + \frac{5,11}{6,055} (-15,8) = -17,23 \text{ (pôle biogénique)}$$

Source St-Blaise :

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \frac{0,816}{6,176} (-25) + \frac{5,36}{6,176} (-14,3) = -15,71 \text{ (pôle biogénique)}$$

Au pôle minéral, on écrit la même équation :

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \frac{[\text{CO}_2]}{\text{CT}} \cdot \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) + \frac{[\text{HCO}_3^-]}{\text{CT}} \cdot \delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^-)$$

$$\text{avec } \delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^-) = \delta^{13}\text{C}(\text{CM}) - 1,5 \text{ ‰}$$

$$\text{et } \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) = \delta^{13}\text{C}(\text{HCO}_3^-) - \text{fractionnement mesuré}$$

soit Source du Clos

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) = \delta^{13}\text{C}(\text{CM}) - 1,5 - 10,4 = \delta^{13}\text{C}(\text{CM}) - 11,9$$

Source Jardin d'Enfants

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) = \delta^{13}\text{C}(\text{CM}) - 1,5 - 9,2 = \delta^{13}\text{C}(\text{CM}) - 10,7$$

Source St-Blaise

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) = \delta^{13}\text{C}(\text{CM}) - 1,5 - 10,7 = \delta^{13}\text{C}(\text{CM}) - 12,2$$

Si nous prenons CM = 0 (carbonates marins de l'encaissant)  
il vient

Source du Clos :

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \frac{0,816}{6,176} (-11,9) + \frac{5,36}{6,176} (-1,5) = -2,87 \text{ (pôle minéral)}$$

Source Jardin d'Enfants :

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \frac{0,945}{6,055} (-10,7) + \frac{5,11}{6,055} (-1,5) = -2,93 \text{ (pôle minéral)}$$

Source St Blaise :

$$\delta^{13}\text{C}(\text{CT}) = \frac{0,816}{6,176} (-12,2) + \frac{5,36}{6,176} (-1,5) = -2,91 \text{ (pôle minéral)}$$

Nous voyons donc fixer les deux limites entre lesquelles peuvent fluctuer le carbone dissous (CT) d'une eau souterraine dans les cas étudiés à St Amand.

Au pôle biogénique :

$$-17,2 < \delta^{13}\text{C}(\text{CT}) < -1,57 \text{ et } A^{14}\text{CT} = 100 \text{ ‰}$$

Au pôle minéral :

$$-2,9 < \delta^{13}\text{C}(\text{CT}) < -2,8 \text{ et } A^{14}\text{CT} = 0$$

Il est donc possible de reconstituer à partir de l'analyse chimique et  $^{13}\text{C}$  du carbone dissous (CT mesuré lors de la préparation analytique du  $^{14}\text{C}$ ,

la proportion P de carbone biogénique :

$$p = \frac{CB}{CT} = \frac{\delta^{13}C(CT \text{ mesuré}) - \delta^{13}C(CT \text{ calculé au pôle minéral})}{\delta^{13}C(CT \text{ calculé au pôle biogénique}) - \delta^{13}C(CT \text{ calculé pôle minéral})}$$

soit pour les 3 sources étudiées

$$\text{Source du Clos : } p = \frac{(-10,4) - (-2,87)}{(-15,97) - (-2,87)} = \frac{-7,53}{-13,1} = 0,575$$

$$A^{14}C(CT) = 100 p = 57,5 \%$$

et l'âge  $t = \underline{\underline{5.200 \text{ ans}}}$

$$\text{Source Jardin d'Enfants : } p = \frac{(-9,3) - (-2,93)}{(-17,23) - (-2,93)} = \frac{-6,37}{-14,3} = 0,445$$

$$A^{14}C(CT) = 100 p = 44,5 \%$$

et l'âge  $t : \underline{\underline{5.200 \text{ ans}}}$

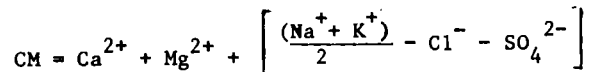
$$\text{Source St Blaise : } p = \frac{(-9,1) - (-2,91)}{(-15,71) - (-2,91)} = \frac{-6,19}{-12,8} = 0,483$$

$$A^{14}C(CT) = 100 p = 48,3 \%$$

et l'âge  $t = \underline{\underline{3.870 \text{ ans}}}$

Ce modèle de corrections chimique et isotopique a été proposé pour la première fois par HENDY (1971).

Plus récemment, FONTES et GARNIER (1977) propose une dernière correction chimique et isotopique qui s'effectue en deux temps. C'est tout d'abord la distinction par la chimie, du carbone mort (CM) et actif ou biogénique (CB). En effet, lors de la dissolution de la calcite, chaque  $CO_3^{--}$  qui entre en solution est accompagné de son  $Ca^{++}$  correspondant. Il est de plus tenu compte des ions produits lors de la dissolution de la dolomie, du gypse et de l'anhydrite ...; si bien que l'on peut écrire :



Dans le cas des sources étudiées de St-Amand-les-Eaux cette démarche donne les résultats suivants :

Nom des sources	(en $10^{-3}$ moles / l)						Terme correctif ( $10^{-3}$ moles/l)	Carbone "total" CT mesuré ( $10^{-3}$ moles/l)	Carbone "mort" CM calculé ( $10^{-3}$ moles/l)	Carbone "actif" CB calculé ( $10^{-3}$ moles/l)
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>				
Sce du Clos	4,44	1,94	1,28	0,11	1,13	3,88	- 3,75	6,176	2,66	3,156
Sce Jardin d'Enfants	5,24	3,37	1,96	0,15	1,75	6,46	- 6,28	6,055	2,33	3,725
Sce St Blaise	4,19	2,47	1,40	0,12	1,21	4,35	- 4,20	6,176	2,46	3,716

On peut rapprocher cette équation qui détermine la molarité en carbone mort de celle, simplifiée de l'électroneutralité :

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{\text{HCO}_3^-}{2} \quad \text{d'où} \quad \text{CM} = \frac{\text{HCO}_3^-}{2}$$

Dans nos exemples étudiés, nous obtenons par cette voie :

$$\text{Source du Clos} = \frac{5,36}{2} = 2,68 \cdot 10^{-3} \text{ moles/l}$$

$$\text{Source Jardin d'Enfants} = \frac{5,11}{2} = 2,55 \text{ moles/l}$$

$$\text{Source St Blaise} = \frac{5,36}{2} = 2,68 \text{ moles/l}$$

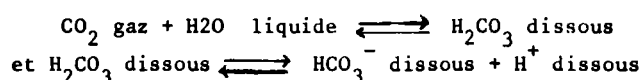
On calcule également le rapport du carbone "mort" (CM) sur  $\text{HCO}_3^-$  total.

$$\text{Source du Clos} = \frac{2,66}{5,36} = 0,49$$

$$\text{Source Jardin d'Enfants} = \frac{2,33}{5,11} = 0,45$$

$$\text{Source St-Blaise} = \frac{2,46}{5,36} = 0,45$$

Ces valeurs  $< 0,5$ , indiquent que les ions  $\text{HCO}_3^-$  en excès proviennent soit de l'ionisation de l'acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_3$  suivant les réactions :



Mais cet excès devrait être lié d'après le dernier équilibre à un pH relativement faible. Or ce n'est pas le cas dans les eaux de St Amand étudiées. Nous pensons plutôt que cet excès de  $\text{HCO}_3^-$  pourrait être produit par échange de cations avec les niveaux argileux, fixation de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  et libération de  $\text{Na}^+$ .

La connaissance de la quantité de carbone mort CM ne renseigne pas sur les échanges isotopiques possibles entre les différentes formes dissoutes de carbone, et nous considérons que dans le système représenté par l'eau, il y a en présence :

- une quantité de carbone actif (CB) à teneur isotopique en  $^{13}\text{C}$  proche du  $\text{CO}_2$  du sol (- 25 ‰) dont elle dérive.
- une quantité de carbone mort (CM), provenant des carbonates de l'aquifère à teneur isotopique en  $^{13}\text{C}$  identique à celle d'un carbonate marin ( $\approx 0$ ).

Entre ces deux pôles biogénique et minéral existe une quantité Q de carbone dissous qui va échanger totalement soit avec :

- le carbone mort (CM)
- le carbone actif (CB)

Par bilan chimique et isotopique, on établit que la quantité Q est égale à :

$$Q = \frac{\delta^{13}\text{CT} \times \text{CT} - \delta^{13}\text{CM} \times \text{CM} - \delta^{13}\text{CB} \times \text{CB}}{\delta^{13}\text{CB} + \Delta (\text{HCO}_3^- - \text{CO}_2 \text{ gaz}) - \delta^{13}\text{CM}}$$

La résolution de cette relation donne avec une valeur de  $\delta^{13}\text{CM} = +1$  (valeurs des Calcaires carbonifère du Nord publiées : + 1,24, +1,37 GARNIER 1976) les résultats suivants :

$$\begin{aligned} \text{Source du Clos } Q &= - 1,377 \cdot 10^{-3} \text{ moles/l} \\ \text{Source Jardin d'Enfants } Q &= - 2,053 \cdot 10^{-3} \text{ moles/l} \\ \text{Source St Blaise } Q &= - 2,238 \cdot 10^{-3} \text{ moles/l} \end{aligned}$$

Le signe négatif de Q indique qu'une fraction du carbone actif (CB) a échangé avec du carbone mort (CM).

Pour obtenir l'âge  $^{14}\text{C}$ , il suffit d'écrire l'équation de bilan de matière.

$$\text{CTAO}^{14}\text{CT} = \text{CMA}^{14}\text{CM} + (\text{CT}-\text{CM} + p)^{14}\text{ACB} + q (\text{A}^{14}\text{CM} + 2 \Delta)$$

$$\text{soit } \text{A}^{14}\text{O} = \frac{1}{\text{CT}} \text{CB A}^{14}\text{CB} + \text{CM A}^{14}\text{CM} + (\text{A}^{14}\text{CB} + 2 \Delta - \text{A}^{14}\text{CM}) q$$

sur les exemples étudiés nous obtenons en posant  $\text{A}^{14}\text{CM} = 0$  et  $\text{A}^{14}\text{CB} = 100$  par définition et en remplaçant  $\Delta$  par la valeur mesurée du fractionnement entre  $\text{HCO}_3^-$  dissous et  $\text{CO}_2$  gaz.

#### Source du Clos =

$$\begin{aligned} \text{Activité initiale } ^{14}\text{C} : \text{AO}^{14}\text{CT} &= 24,7 \% \\ \text{A}^{14}\text{CT} &= 30,1 \% \end{aligned}$$

$$t = 8033 \ln \left( \frac{34,7}{30,1} \right) = \underline{\underline{1.140 \text{ ans}}}$$

#### Source Jardin d'Enfants

$$\begin{aligned} \text{Activité initiale } ^{14}\text{C} : \text{AO}^{14}\text{CT} &= 27,0 \% \\ \text{A}^{14}\text{CT} &= 23,3 \% \end{aligned}$$

$$t = \underline{\underline{1.200 \text{ ans}}}$$

#### Source St Blaise

L'activité  $^{14}\text{C}$  est de 23,2 % pour  $\text{AO}^{14}\text{CT}$ , et l'activité  $^{14}\text{C}$  mesurée est de 29,9 % pour  $\text{A}^{14}\text{CT}$ .

Nous remarquons dans ce cas que l'activité mesurée est supérieure à l'activité initiale. Ce phénomène est contraire au processus de décroissance radioactive. Pour expliquer cette anomalie, deux possibilités peuvent être envisager :

1°) Une pollution atmosphérique au moment du prélèvement et/ou moment du traitement de l'échantillon au laboratoire. Ceci est difficile à admettre car les deux opérations ont été effectuées correctement : prélèvement sous azote et traitement sous vide.

2°) La valeur prise en compte pour la composition isotopique en  $^{13}\text{C}$  du carbone mort (CM) est trop faible (+1). Si nous l'ajustons à +3, nous obtenons les valeurs suivantes :

$$\text{fraction de carbone échangée } q = -1,695 \cdot 10^{-3} \text{ moles/l}$$

$$\text{Activité initiale : } \text{AO}^{14}\text{CT} = 32,2 \%$$

$$\text{Soit } t = \underline{\underline{580 \text{ ans}}}$$

### Interprétation provisoire des âges $^{14}\text{C}$

Si nous nous reportons sur le tableau XX les âges donnés par les différentes corrections appliquées aux trois sources thermales de St Amand-Les-Eaux analysées en carbone  $^{14}\text{C}$ , on constate un singulier désaccord entre les diverses corrections énumérées.

Il faut bien avouer qu'actuellement au seul vu des résultats analytiques du secteur français, il est difficile de trancher car nous avons mis en évidence par la chimie et les données isotopiques, un phénomène de mélange des eaux à St-Amand.

Nous pensons que par une démarche analytique similaire dans le secteur belge où les eaux du Calcaire carbonifère apparaissent, d'après les premières analyses faites, moins mélangées, permettra de faire progresser l'interprétation de l'étude d'une façon globale.

Nous pouvons cependant penser que les corrections chimiques et isotopiques proposées par FONTES et al., et qui sont actuellement les plus complètes pour l'interprétation des âges  $^{14}\text{C}$ , des eaux circulant en milieu carbonaté doivent mieux serrer la réalité.

On peut retenir provisoirement un âge de 600 à 1.200 ans pour les eaux du Calcaire carbonifère à St-Amand-Les-Eaux, compte-tenu des phénomènes de mélange avec les eaux de la craie et de la présence de tritium dans ces sources. Le contrôle de ces corrections par la composition isotopique en  $^{13}\text{C}$  du carbone total "CT" donne des résultats concordants entre ceux calculés par bilan et ceux mesurés :

	$^{13}\text{CT}$ calculé	$^{13}\text{C}$ mesuré
Source du Clos	- 10,40	- 10,4 $\pm 0,1$
Source Jardin d'Enfant	- 8,95	- 9,3 $\pm 0,1$
Source St Blaise	- 9,09	- 9,1 $\pm 0,1$

DATATIONS DES SOURCES THERMALES DE  
St-AMAND-LES-EAUX

TABLEAU RECAPITULATIF DES AGES EXPRIMES EN ANNEES

$Ao^{14}CT$	Source du Clos (1)	Source Jardin d'Enfants (2)	Source St Blaise (3)
AGE CONVENTIONNEL 100 %	9650	11700	9700
AGE CORRIGE ① <u>Corrections statistiques</u>			
Correction de VOGEL (1963-1970) 85 %	8310	10100	8400
Correction de PEARSON et al. (1) = 41,6 (2) = 37,2 (1970) (3) = 36,4 en %	2600	3760	1580
Correction de MARCE et al. (1) = 52 (2) = 46,5 (1975) (3) = 45,5 en %	4400	5550	5380
AGE MOYEN suivant ①	5100	6570	5120
② <u>Corrections chimiques</u>			
Correction de TAMERS (1975) (1) = 56,6 (2) = 57,8 (3) = 56,6 en %	5075	7300	5130
③ <u>Corrections isotopiques</u>			
Correction de GONFLANTINI (1) = 76,7 (2) = 69,7 (1972) (3) = 68,4 en %	7520	8800	6650
④ <u>Corrections mixtes</u>			
Correction de HENDY (1971) (1) = 57,5 (2) = 44,5 (3) = 48,3 en %	5200	5200	3870
Correction de FONTES et al (1) = 34,7 (2) = 27,0 (1977) (3) = 32,2 en %	1140	1200	595

TABLEAU XX

## 5 - CONCLUSIONS

Les teneurs en sulfates des eaux des forages au Calcaire carbonifère de la région de St-Amand-les-Eaux et la composition isotopique du soufre de ces sulfates ( $\delta^{34}\text{S}$  compris entre +12,9 et +15,4) confirment leur parenté avec les eaux du karst recoupé en Belgique dans les sondages de St-Ghislain et Douvrain ( $\delta^{34}\text{S} = +15,4$  et +16,5) ; ces fortes teneurs en sulfates et l'enrichissement en isotopes lourds ( $\delta^{34}\text{S}$  fortement positif) étant dus à la dissolution de l'anhydrite dont le  $\delta^{34}\text{S}$  est voisin de +15.

Pour les forages captant la nappe de la craie séno-turonienne, on remarque des teneurs en sulfates élevées, associées à un enrichissement en isotopes lourds dont les valeurs sont comparables à celles des forages au Calcaire carbonifère (cf. tableau XIX, fig 31, annexe VI :

- à l'Etablissement thermal de St-Amand-les-Eaux, pour tous les forages quelle que soit la température de l'eau.  $+15,1 \leq \delta^{34}\text{S} \leq +15,8$

- à la brasserie du Corbeau à Lecelles (au Nord de St-Amand) :  $\delta^{34}\text{S} = +13,4$

Ces eaux captées dans la craie proviennent donc de la nappe du Calcaire carbonifère sous-jacente, en charge.

D'autres venues se manifestent également à l'Ouest de St-Amand :

- à Millonfosse (forage du SIDEN) où la teneur en sulfates est supérieure à la teneur normale de la nappe de la craie ( cf. fig. 19) ; l'enrichissement moins important en isotope lourd ( $\delta^{34}\text{S} = +7,4$ ) et la teneur élevée en tritium ( $53 \text{ UT} \pm 5$ ) font penser à un mélange d'eaux du Calcaire carbonifère et des Sables tertiaires d'autant que l'Argile de Louvil est progressivement remplacée vers l'Est par un faciès sablo-gréseux (Tuffeau) facilitant les communications entre la nappe de la craie et celle des sables tertiaires.

- entre Beuvry-la-Forêt et Marchiennes, car les teneurs en sulfates sont élevées et l'appauvrissement en isotopes lourds est relativement moins important qu'il ne devrait l'être pour les 2 forages de Beuvry-la-Forêt situés au centre de la cuvette d'Orchies.

Les analyses chimiques et isotopiques associées permettent donc non seulement de confirmer la parenté des eaux de la région de St-Amand-thermal avec les eaux du karst rencontrées aux forages de St-Ghislain et Douvrain mais également de mettre en évidence d'autres venues d'eau du Calcaire carbonifère dans la nappe de la craie sur la bordure nord du bassin houiller, probablement à la faveur de zones faillées permettant à ces eaux de remonter depuis le ou les niveaux karstifiés jusqu'à la craie à travers plusieurs couches semi-perméables (Namurien, Turonien inférieur et moyen).

Toutefois, étant donné le mélange avec les eaux du Tertiaire (en principe appauvries en isotopes lourds), il importera de caractériser par plusieurs analyses chimiques et isotopiques les eaux de cette nappe.

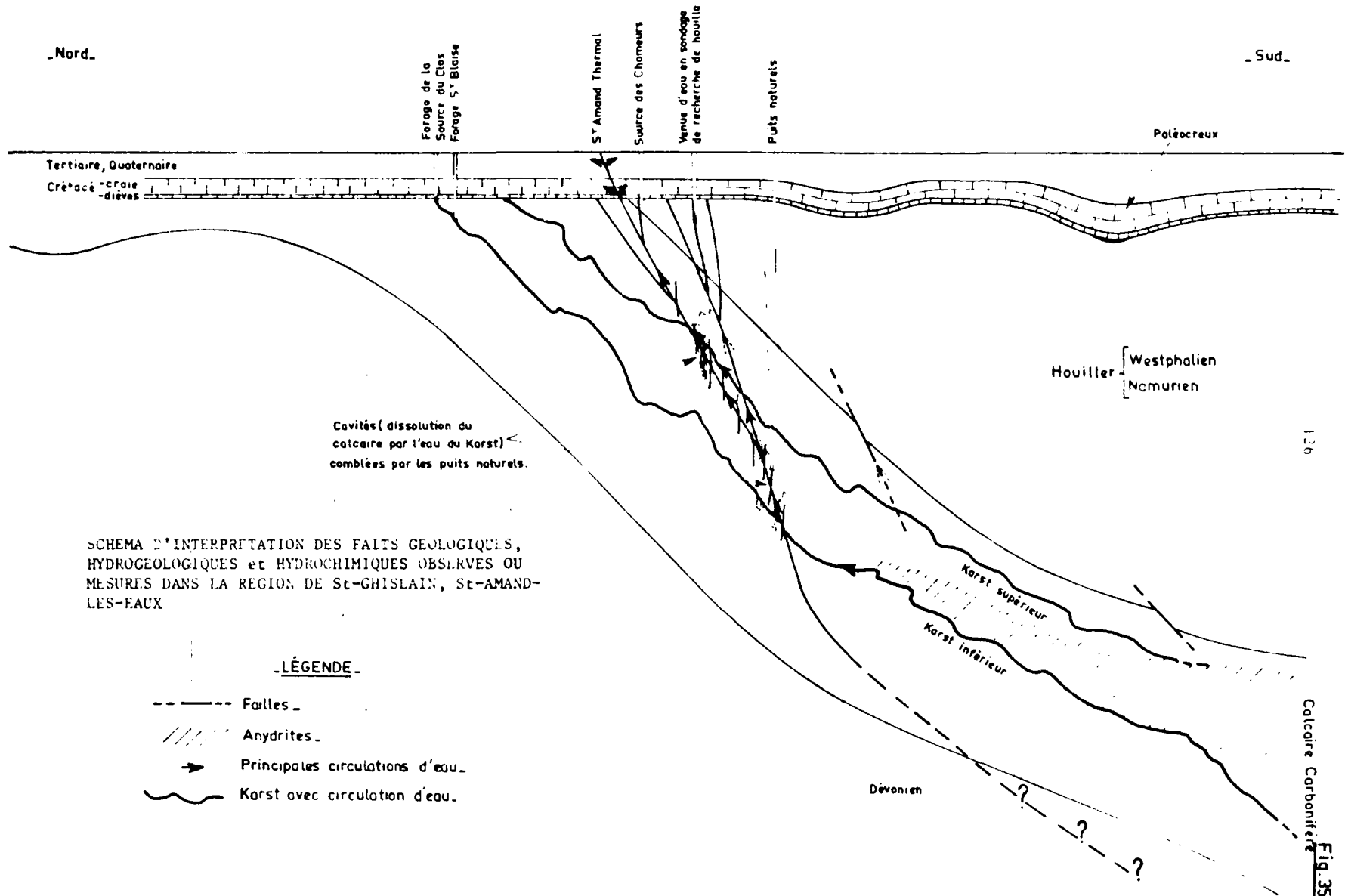
Des prélèvements sur des forages à la craie existants (mais non échantillonnés lors de la présente campagne à Hasnon, Bouvignies, Orchies et Auchy-les-Orchies) seraient également nécessaires pour confirmer les venues d'eau du Calcaire carbonifère vers la craie entre Marchiennes et Beuvry.

Le rassemblement des données existantes concernant les venues d'eaux anormalement chaudes ou sous-pression dans les forages de recherche d'eau ou de houille effectués dans la région de St-Amand-les-Eaux confirme l'hypothèse qu'il existe dans le Calcaire carbonifère sous le bassin houiller un ou plusieurs niveaux karstifiés, l'un de ces niveaux karstifiés venant affleurer sous le recouvrement crétacé au niveau des forages Source du Clos et St-Blaise. Des remontées d'eaux plus chaudes (car plus profondes) se produisent également à partir d'un niveau karstifié, inférieur à la faveur d'accidents sur la bordure nord du bassin houiller ( cf. fig. 35 ci-après).

Le Calcaire carbonifère sous le bassin houiller n'a été atteint qu'en quelques points sur la bordure nord du bassin, la plupart des sondages pour recherche de houille effectués par les HBNPC s'arrêtant dans le Namurien. Toutefois, les coupes dressées par le Service géologique des HBNPC à partir des données de sondage et d'exploitation minière nous ont permis d'extrapoler le toit du calcaire jusqu'à environ -1500 m sous le flanc nord du bassin houiller.

L'épaisseur des terrains namuriens sous-jacents à la dernière veine de houille exploitée étant à peu près constante dans cette partie du bassin houiller (cf. fig 3) et la tectonique relativement calme, une bonne fiabilité peut être accordée à cette extrapolation.

Plus au Sud, le toit du Calcaire carbonifère ne s'enfoncerait guère au-delà de -2000 m, mais la tectonique plus chahutée du bassin minier vers le Sud et l'absence de sondages rend toute extrapolation hasardeuse.



Le sondage de Douvrain situé sur le flanc nord du bassin houiller en Belgique, après avoir atteint le toit du calcaire vers 1070 m a recoupé un karst aquifère à 1335 m, soit 265 m plus bas, au sommet de l'assise de Namèche (notation V2b des cartes géologiques belges et h2b des cartes géologiques françaises), il faudrait donc ajouter une épaisseur de 200 à 400 m à l'altitude du toit du calcaire pour espérer recouper le premier niveau karstifié sur le bord nord du bassin houiller. Ce sondage ayant été arrêté à la profondeur de 1353,80 m (profondeur réelle = 1323 m) par suite de difficultés techniques n'a pas permis de vérifier la présence éventuelle de niveaux karstifiés sous-jacents.

A Saint-Chislain, sous le centre du bassin houiller, le niveau karstifié se situe à 820 m sous le toit du calcaire par suite de la présence d'anhydrite (environ 400 m) et d'une position stratigraphique plus basse à la base de l'assise de Namèche.

La présence du ou des karsts est attestée par l'existence de puits naturels. Ce sont des perforations verticales ou obliques de forme variable, remplis de cailloux provenant des terrains encaissants, fréquemment mélangés à des matériaux provenant des morts terrains (Crétacé).

Ces puits naturels recoupés par les travaux houillers ont été répertoriés par A. VANDENBERGHE (cf. fig. 15). Leur densité est importante au SSE de St-Amand et dans la région de Vieux-Condé.

Ces secteurs nous paraissent donc être, en l'état actuel des connaissances, les zones a priori les plus favorables pour l'implantation d'un forage de recherche d'eau. La température étant en grande partie fonction de la profondeur du gisement qui se situerait vers 1800 à 2000 m en limite sud de la zone des puits naturels (cf. annexe IV), l'eau devrait avoir une température de l'ordre de 60 à 80°. S toutefoix il y avait présence d'anhydrite comme à St-Chislain, le karst devrait alors se situer vers 2300 à 2500 m pour une température sensiblement identique.

Dans ou au Nord de cette zone, la température de l'eau peut être supérieure à ce qu'elle devrait être si les circulations se produisent du Sud vers le Nord, ce qui semble être le cas à Douvrain en Belgique où pour une profondeur de 1335 m, l'eau sort en tête de puits à 66° alors que selon le degré géothermique normal, la température du gisement serait de  $\frac{1335 \times 3}{100} + 11^\circ = 51^\circ$ , ce qui fait un gain de 15° en tête de puits.

Si ces conditions sont réalisées en secteur français, le secteur situé au Sud de la courbe isohypse -500 m pour le toit du Calcaire carbonifère devrait fournir une eau dont la température serait égale ou supérieure à 50° selon le calcul ci-après :

- profondeur du karst :  $500 \text{ m} + 300 \text{ m} = 800 \text{ m}$
- $t^\circ$  selon le degré géothermique normal  $\frac{800 \times 3}{100} + 11 = 35^\circ$
- température en tenant compte du gain à Douvrain  $35^\circ + 15^\circ = 50^\circ$

. Au Sud de la limite des puits naturels, la présence du ou des karsts est probable si l'on fait l'hypothèse suivante :

- les puits naturels sont liés à une dissolution importante de la matrice calcaire à partir d'un réseau de fractures subverticales dont le réseau a été emprunté par les eaux d'un karst profond pour rejoindre un karst moins profond ou bien se déverser dans la nappe de la craie par les réseaux de fractures associées aux failles (ex : St-Amand-thermal).

Après l'obturation des exurgences du karst supérieur par les sédiments crétacés, le karst dans sa partie nord ne débitant plus, les eaux du ou des karsts inférieurs auraient alors cheminé par le réseau de fractures pour sourdre en bordure nord du bassin houiller dans la nappe de la craie et même jusqu'au sol dans la région de l'actuel Etablissement thermal de St-Amand. Les forages de la Source du Clos et St-Blaise constitueraient les seules exurgences actuelles de la partie septentrionale du karst. Ceci expliquerait le chimisme différent de ces eaux de celles de l'Etablissement thermal.

Le gain de température (15 à 30°) au forage de Douvrain par rapport au gradient géothermique normal pourrait être expliqué de la même façon si l'on admet que ce forage capte l'eau du karst supérieur mais venant de remonter du karst inférieur recoupé à St-Ghislain, le schéma ci-avant (fig. 35) étant transposable latéralement de St-Amand à St-Ghislain.

Des réserves s'imposent cependant :

- le ou les karsts du Calcaire carbonifère couvrent-ils toute la surface du centre et du bord nord du bassin houiller ou bien sont-ils localisés à certains secteurs reliés entr'eux par des conduits,

- en se dirigeant vers l'Ouest, les circulations d'eau se font-elles d'Est en Ouest en profondeur puis du Sud vers le Nord pour remonter vers les zones d'exurgence (comme cela semble le cas dans la région de St-Ghislain ou uniquement d'Est en Ouest pour certaines zones karstifiées, ce qui annulerait le gain de température par rapport au gradient géothermique normal observé à Douvrain (>à 15°).

BIBLIOGRAPHIE

- BARROIS J. (1911) - Etude des eaux et boues thermales  
de l'Etablissement départemental de St-  
Amand-les-Eaux (Nord). Thèse de Médecine, Lille.
- BERNARD D. (1979) - 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 de 3ème cycle. Université  
des Sciences et Techniques de Lille. U.E.R.  
des Sciences de la Terre.
- BERNARD D., BOSCH B., MARCE A. (1979) - Diagnostic des pollutions  
agricoles dans les eaux souterraines par les  
isotopes du milieu - Rapport B.R.G.M. 79 SGN 141 NPC/MGA.
- BOUROZ A. (1969) - Le Carbonifère du Nord de la France - Extrait des  
Annales de la SGN - tome L XXXIX - 1969.
- CFP(M), COPESEP, RAP et SNPA (1966) - Contribution à la connaissance des  
bassins paléozoïques du Nord de la France - Extrait  
des annales de la S.G.N. - TL XXXV.
- CHALARD J. (1960) - Contribution à l'étude du Namurien du Bassin Houiller  
du Nord de la France - Houillères du Bassin du Nord et du  
Pas-de-Calais.
- G. DASSONVILLE, G. LIENHARDT et G. WATERLOT - Programme de reconnaissance  
pour la recherche d'eau froide non minérale à St-Amand-  
Les-Eaux (N.), 5 Mars 1962 - 1971
- G. DASSONVILLE, G. LIENHARDT et G. WATERLOT - Rebouchage des anciens  
captages Vauban et Naudin de l'Etablissement thermal  
de St-Amand-Les-Eaux (Nord), 24 Mai 1962. DSGR 62 A 22.

- G. DASSONVILLE, G. LIENHARDT, F. ROSSIGNOL et G. WATERLOT - Rapport de fin de forage Vauban 62, St-Amand-Les-Eaux (Nord), 30 Mai 1962. DSGR 62 A 18
- G. DASSONVILLE et G. WATERLOT - Programme de reconnaissance pour la recherche d'eau chaude à l'Etablissement thermal de St-Amand-Les-Eaux (Nord), 7 novembre 1962 - DSGR 62 A 21
- G. DASSONVILLE, J. DESSOIGNIES, F. ROSSIGNOL, P. THULLIER et G. WATERLOT - Données géologiques et hydrogéologiques acquises au 15 Janvier 1964 sur les feuilles topographiques St-Amand-Les-Eaux (3-4-7-8) et Crespin (1-5) DSGR 64 A 20.
- G. DASSONVILLE - Résultats obtenus à la suite de l'exécution d'un nouveau forage dit "Forage du Jardin d'Enfants" à l'Etablissement Thermal de St-Amand-Les-Eaux (Nord) - Extrait SGN T. LXXXV.
- G. DASSONVILLE - A. FAURE - Résultats de l'essai de pompage de longue durée effectué sur le forage du Jardin d'Enfants - St Amand-Les-Eaux (Nord) DSGR 64 B 9.
- DELMER A, 1977 - Le Bassin du Hainaut et le sondage de St Ghislain - Service géologique de Belgique, Prof. Pap n° 143, 1-12
- DELMER A, 1979 - Hydrodynamique de la nappe aquifère du Calcaire carbonifère en Hainaut. Ann. Soc. Géologique, Liège - T 102 PP 259 - 264
- D. DEPATIGNE - Compte rendu des essais de pompage effectués le 1-10-1968 sur le forage n° 2 de la source Amanda à Saint-Amand-Les-Eaux (Nord) Mars 1969 - Rapport B.R.G.M. 69 SGL 093 NPA
- A. FAURE et G. DASSONVILLE - Forage du Jardin d'Enfants à l'Etablissement Thermal de St Amand Les Eaux (Nord), 1964. Rapport de fin de sondage, 8 Juin 1964 Rapport B.R.G.M. DSGR 64 B 3.

- FONTES J.C et al. (1977) Détermination of the initial  $^{14}\text{C}$  activity of the total dissolved carbon Age estimation of waters in confined aquifers. Second symposium on water rock interaction 1 p 363-376
- GONFIANTINI R. (1972) Etude des ressources en eau du Sahara septentrional AIERA Project REG 100.
- GOSSELET J. (1913)- Les assises crétaciques et tertiaires du Nord de la France. Gites minéraux de la France, fascicule 4, région de Valenciennes.
- L. GUILLAUME, J. RICOUR et G. WATERLOT - Deuxième rapport sur la remise en exploitation de l'Etablissement Thermal de St-Amand-Les-Eaux (N.), le 11 Avril 1952.
- HENDY C.H. (1971) The isotopic geochemistry of speleothems. Geochim. Cosmochim Acta 35 p. 801-824.
- R. HORN. -Essais géophysiques pour la recherche d'eau chaude à St-Amand-Les-Eaux (Nord), 31 Mai 1963. DS 63 A 50
- 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 MEDED-RIJKS GEOL. DIENST 32-13, 101-105 published 15-3-1980.
- LECLERCQ V. 1980 - Le sondage de DOUVRAIN - Service géologique de Belgique - Professional Paper n° 170 -
- LEGRAND R (1968) Le Massif du Brabant - Service géologique de Belgique Mémoire n° 9 BRUXELLES.
- LEGRAND R. 1974 - Jalons géothermiques - Service Géologique de Belgique - Mémoire n° 16 BRUXELLES

- MAGNE F. 1964 - Données micropaléontologiques et stratigraphiques dans le dévonien du Boulonnais (France) et du Bassin de Namur (BELGIQUE)  
Thèse de 3ème cycle Université de Paris.
- MARCE A. et Al (1978) Contribution des isotopes du milieu à l'étude des grands aquifères du Maroc. Isotope hydrology AIEA p. 491 - 524
- MARLIERE R. (1976) - Les eaux chaudes de BAUDOUR. (Hainaut - Belgique) et les "tunnels inclinés" - Extrait des Mémoires et publications de la Société des Sciences des Arts et des lettres du Hainaut  
87ème volume
- MICHARD G. (1979) Géothermomètres chimiques - Bulletin du B.R.G.M. - Section III  
Deuxième Série n° 2 - 1979 p. 183 à 189.
- MINOUX G. - Etablissement thermal de Saint-Amand-Les-Eaux (Nord) - Etude du gite hydrothermal avant création du "Nouveau forage", 4 juin 1955  
Rapport B.R.G.M. A 811
- MINOUX G. RICOURE J., WATERLOT G. (1957) - Le nouveau forage effectué à l'Etablissement thermal de St-Amand-Les-Eaux (Nord) en 1954, Ann. Soc. Géol. Nord, tome L XVII p. 219
- MUSCHEMBLE G. (1952) - Observations sur les eaux souterraines radioactives du Nord de la France et la radioactivité des roches encaissantes. Ann. Inst. Hydrol. et Climat. tome 23 p. 29.
- PEARSON F.J. et al. (1970) Sources of dissolved carbonate speeres in groundwater and their effects on carbon 14 dating isotope hydrology  
AIEA p. 271 - 286.
- RICOURE J. et G. WATERLOT - A. 298 : Note géologique concernant la remise en exploitation de l'Etablissement thermal de St-Amand-Les-Eaux (Nord), 6 février 1952.
- TAMERS M.A. (1975) Validity of radiocarbon dates on groundwater, géophysical survey  
2 p. 217 - 219.

- VANDENBERGHE A. (1960) - Obstacles à la circulation des eaux souterraines calcaires; Notation de limite d'un réseau karstique. Application au Calcaire carbonifère du Nord de la France et aux sources thermominérales de St-Amand-Les-Eaux. Ann. Soc. Géol. Nord, tome LXXX p. 147.
- VOGEL J.C. (1963) The use of carbon isotopes in groundwater studies Radioisotopes et al. in hydrology AIEA p. 383 - 395
- VOGEL J.C. (1970) Carbon 14 dating of groundwater isotope hydrology AIEA p. 225 - 239
- YOUSSEF H. 1973 - Hydrologie karstique du Calcaire carbonifère de la Belgique et du Nord de la France. Synthèse des données acquises en 1972 Thèse de Docteur - Ingénieur, Université de Lille.



## Annexe I

- LÉGENDE -

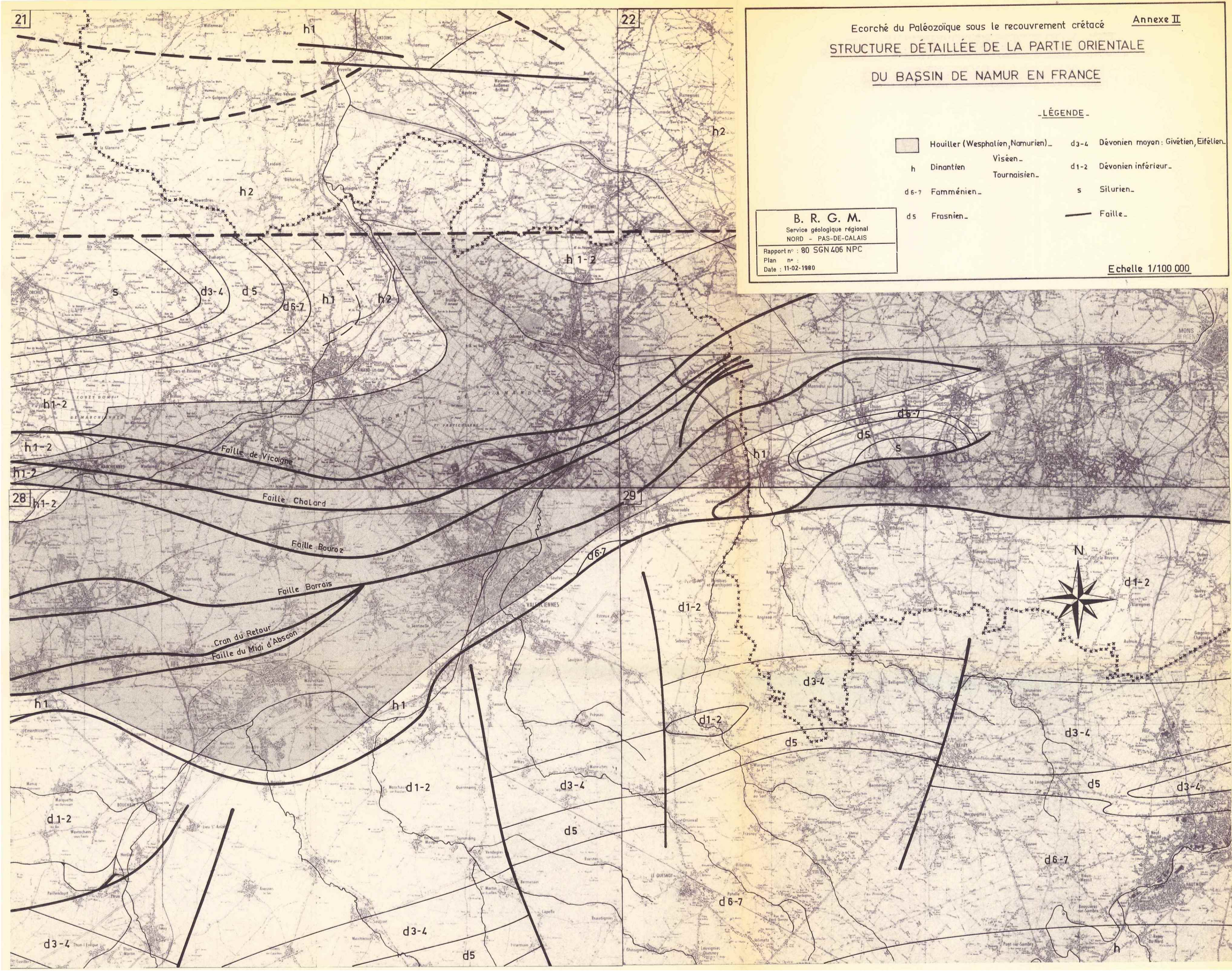
B. R. G. M.

Rapport n° : 80 SGN 406 NPC

Plan n° :

Date : 11-02-1980

Echelle 1/100 000



## - CARTE D'ISOHYPSES DU TOIT DU PRIMAIRE SOUS RECOUVREMENT -

## - LÉGENDE -

B. R. G. M.

Service géologique régional  
NORD - PAS-DE-CALAIS

Rapport n° : 60 SGN 406 NPC

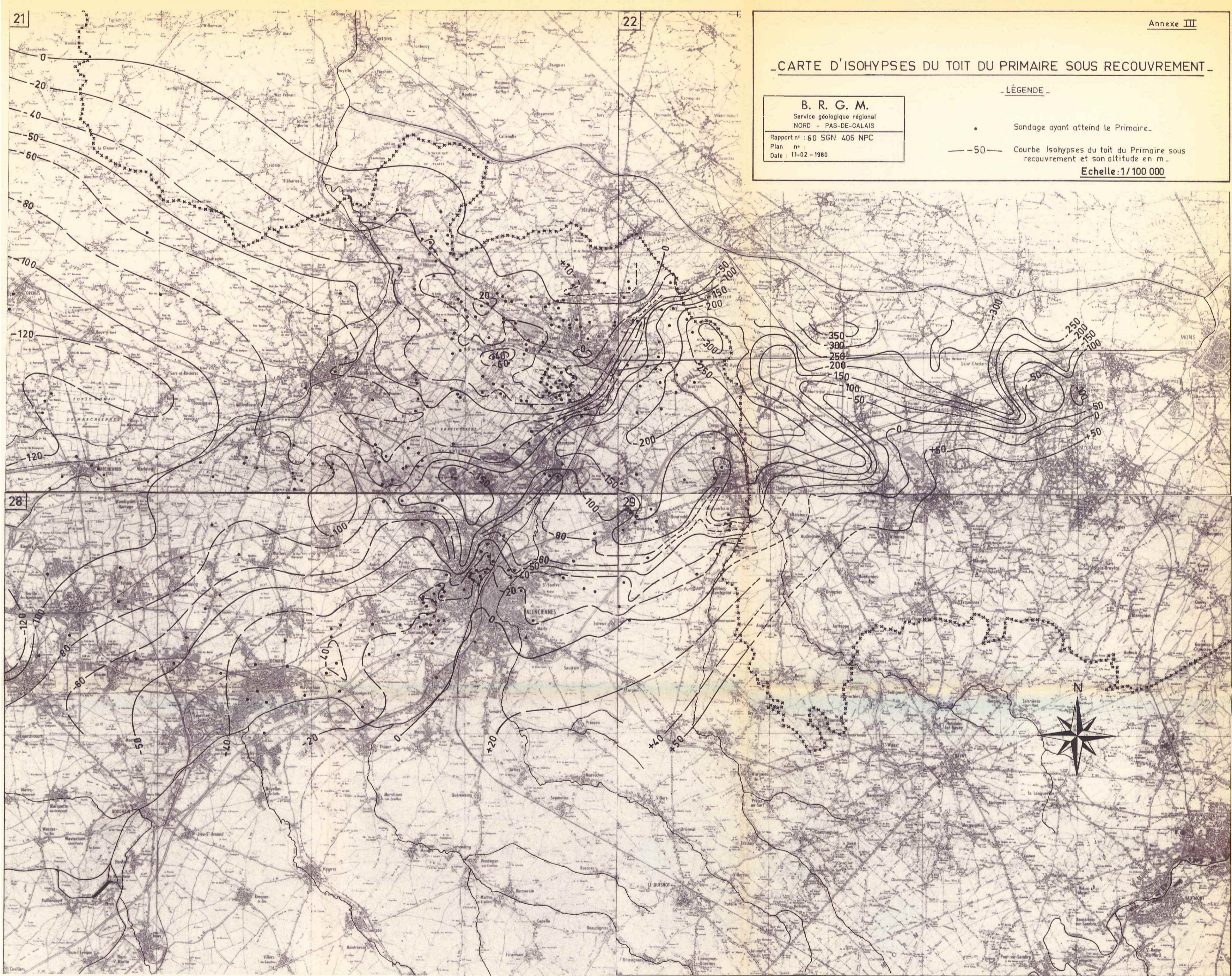
Plan n°

Date : 11-02 - 1980

• Sondage ayant atteint le Primaire.

— -50 — Courbe Isohypses du toit du Primaire sous recouvrement et son altitude en m.

Echelle: 1/100 000



## CARTE D'ISOHYPSES DU TOIT DU CALCAIRE CARBONIFÈRE

## SUR LE BORD DU BASSIN HOUILLER

## - LÉGENDE -

//// Zones de plus forte densité  
des puits naturels répertoriés.

xxxxx Limite Sud, probable des  
puits naturels.

**B. R. G. M.**

Service géologique régional  
NORD - PAS-DE-CALAIS

Rapport n° 80 SGN 406 NPC

Plan n° :

Date : 16-7-1980

7  
-13

Indice national.

Cote du toit du Calcaire Carbonifère.

4  
H>339

Indice national.

Epaisseur de houiller recoupée en sondage.

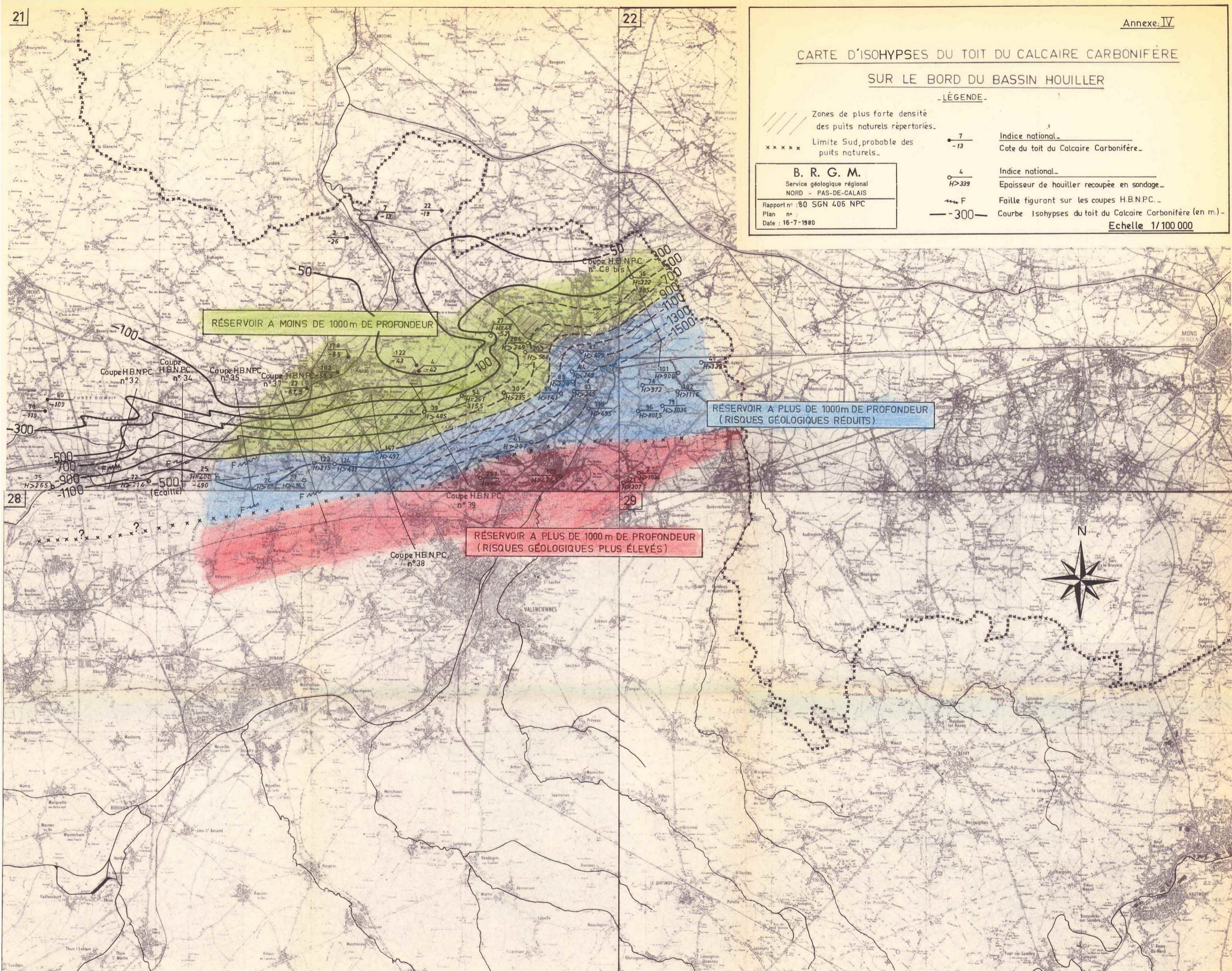
F

Faïlle figurant sur les coupes H.B.N.P.C.

-300-

Courbe Isohypses du toit du Calcaire Carbonifère (en m.)

Echelle 1/100 000



LOCALISATION DES VENUES D'EAU ARTÉSIENNES

LÉGENDE

- Faïlle du Midi
- Limite du Bassin Houiller sous recouvrement
- " " " à la cote - 300
- 7-48 Venue d'eau : dans le Calcaire Carbonifère et indice national
- 7-122 " " : dans le Namurien
- " " : dans le Wealdien
- 7-4 " " : dans la craie

Echelle 1/100 000

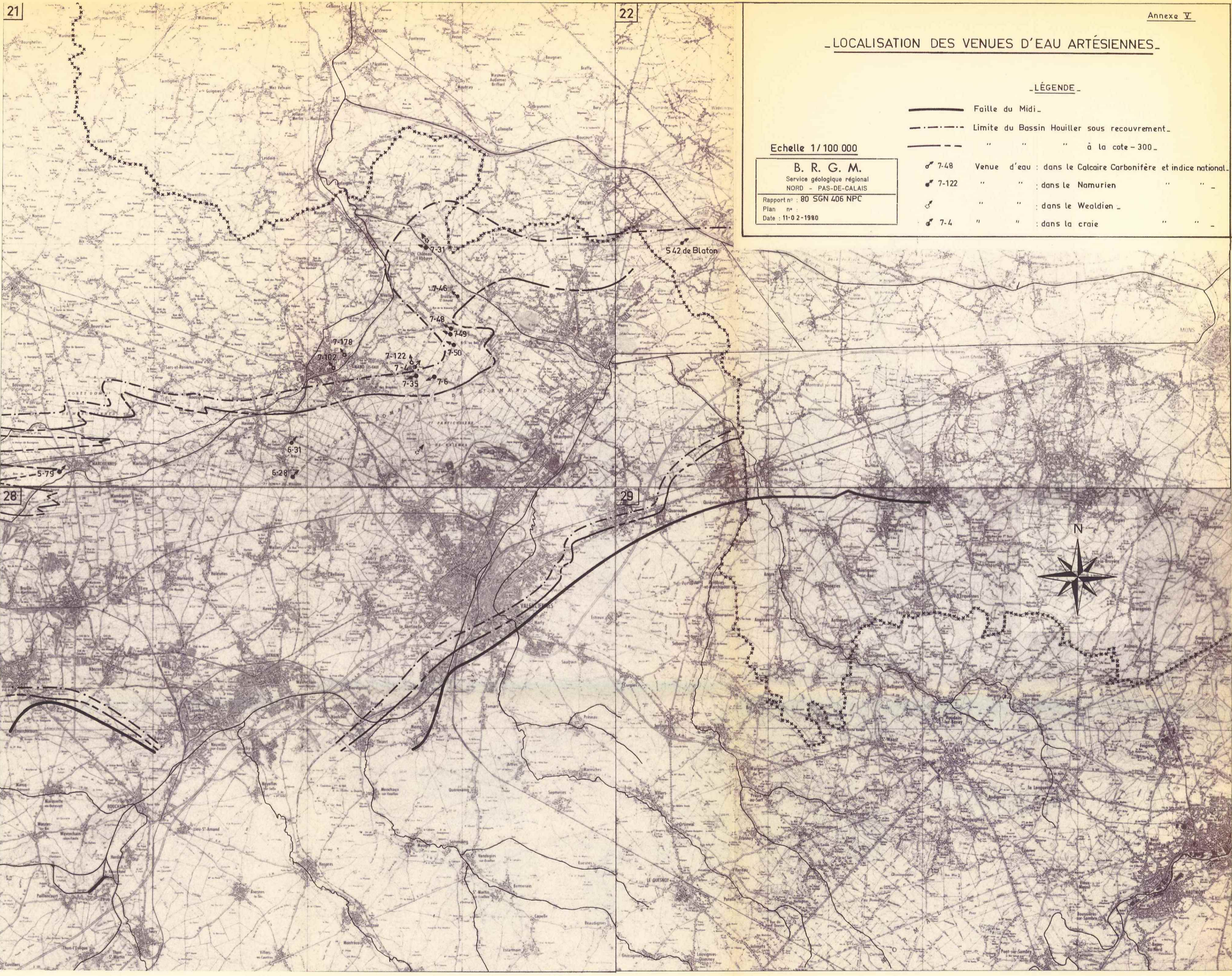
B. R. G. M.

Service géologique régional  
NORD - PAS-DE-CALAIS

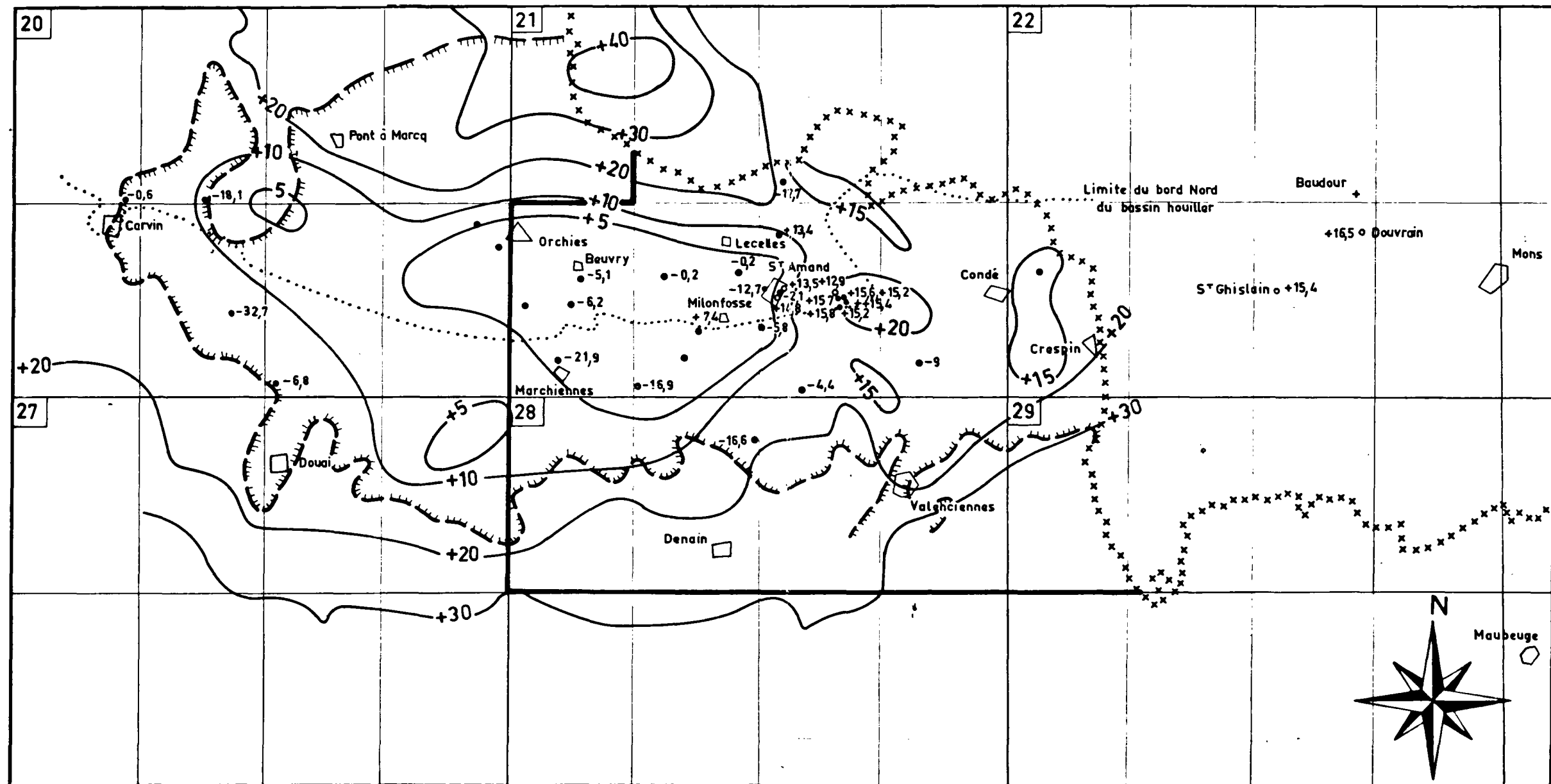
Rapport n° : 80 SGN 406 NPC

Plan n° :

Date : 11-02-1980



(ST AMAND A CARVIN)



Echelle: 1/250 000

- LÉGENDE -

- Forage à la craie
- Forage au Calcaire carbonifère
- + Forage au Primaire (houiller ou Calcaire carbonifère)
- xxxxx Frontière franco-belge
- ..... Bordure nord du bassin houiller

Nappe captive  
Nappe libre

—+20—

•  
-5,1

—

Limite de captivité de la nappe de la craie

Surface piézométrique de la nappe de la craie  
(Etat de basses eaux (1969-1972))

Point de prélèvement

Delta <sup>34</sup>S du soufre des sulfates de l'eau

Zone d'étude

B. R. G. M.  
Service géologique régional  
NORD - PAS-DE-CALAIS  
Rapport n° : 80 SGN 406 NPC  
Plan n° :  
Date : 15-06-1980