

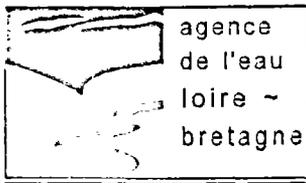
*Études préalables
à la réalisation d'un modèle de gestion
de la nappe de Beauce
Géométrie du réservoir et limites de la nappe de Beauce*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-D-509

mars 1999
R 40571

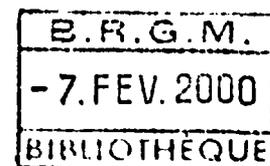
Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie





*Études préalables
à la réalisation d'un modèle de gestion
de la nappe de Beauce
Géométrie du réservoir et limites de la nappe de Beauce*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-D-509



mars 1999
R 40571

Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Mots clés : Gestion, Ressources, Eaux souterraines, Modèle, Réservoir, Nappe de Beauce, Système aquifère.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Martin J.C., Giot D. et Le Nindre Y.M. (1999) – Etudes préalables à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce. Géométrie du réservoir et limites de la nappe de Beauce. Rap. BRGM R 40571, 123 p., 6 tabl., 98 fig. (dont 48 dans volume séparé), 1 ann.

©© BRGM, 1999, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

Synthèse

La gestion des ressources en eaux souterraines de la Beauce a jusqu'alors été pénalisée par l'insuffisance des connaissances relatives à la géologie et plus précisément à la stratigraphie du bassin qui, de toute évidence, est plus complexe que le schéma qui en était donné. La stratigraphie conditionne la répartition des volumes de terrains aquifères, l'existence d'une ou plusieurs nappes, la position des zones de contact entre aquifères superposés et, par conséquent, les échanges hydrauliques entre des niveaux aquifères qui apparaissent interdépendants.

Une reprise complète des données géologiques de surface (carte géologique), de subsurface du BRGM (sondages issus de la BSS) et de la CGG (toit de la craie d'après les diagraphies des carottages sismiques et les profils sismiques) a permis de revoir fondamentalement le schéma stratigraphique en ouvrant un large volet de connaissances sur les niveaux sédimentaires jusqu'alors mal connus ou mal cartographiés.

La reconstruction structurale, largement illustrée par deux familles de coupes sériées, a montré la complexité du bassin sédimentaire. A partir d'un modèle numérique de la géométrie des formations, les moyens nécessaires ont été mis en œuvre pour analyser ce système et extraire des séries d'informations simples concernant les épaisseurs, les limites et les zones de contact, niveau par niveau, afin de conduire à une schématisation hydrogéologique qui sera immédiatement exploitable pour la réalisation ultérieure d'un modèle hydrodynamique.

Chaque niveau sédimentaire a ensuite été analysé en termes de faciès. Tous les pompages d'essais sur forages recensés ont été exploités afin de dégager des valeurs de conductivité hydraulique et des relations sont apparues assez clairement entre faciès et transmissivités.

Le bassin de la nappe de Beauce étant, en très large part, délimité par des conditions naturelles : cours d'eau, points bas de la topographie, la détermination des limites hydrogéologiques résulte essentiellement de la lecture et de l'interprétation du schéma stratigraphique, de la morphologie et des relations avec les cours d'eau temporaires ou permanents périphériques. Pour les quelques passages où les limites d'étude coïncident avec des interfluves, des coupes hydrogéologiques disposées de façon radiale ont été réalisées et interprétées en s'appuyant sur la distribution des faciès et les crêtes piézométriques.

Si, en termes analytiques, la structure hydrogéologique du bassin est désormais bien cernée et validée par des données hydrostatiques, il restera à faire une série de validations à partir des états dynamiques des nappes, en simulant la mise en fonctionnement dans le système aquifère complexe.

Sommaire

Introduction	11
1. Géométrie des formations géologiques (fig. 1.1.1 et 1.1.2)	13
1.1.1. Succession stratigraphique.....	14
1.1.2. Rappel des conditions de dépôts.....	17
1.2. Extension et structure : principaux résultats obtenus	17
1.2.1. Craie (fig. 1.2.1).....	19
1.2.2. Eocène détritique (fig. 1.2.2 et 1.3.2.m)	20
1.2.3. Arkose de Breuillet (fig. 1.2.3 et 1.3.2.l)	21
1.2.4. Calcaires éocènes (fig. 1.2.4 et 1.3.2.k)	21
1.2.5. Argile verte et Marnes supragypseuses (fig. 1.2.5 et 1.3.2.j).....	22
1.2.6. Calcaire de Brie (fig. 1.2.6 et 1.3.2.i)	23
1.2.7. Marnes à huîtres et Molasse d'Etrechy (fig. 1.2.7 et 1.3.2.h).....	23
1.2.8. Sables de Fontainebleau (fig. 1.2.8 et 1.3.2.g).....	24
1.2.9. Calcaire d'Etampes (fig. 1.2.9 et 1.3.2.f).....	25
1.2.10. Molasse du Gâtinais (fig. 1.2.10 et 1.3.2.e)	26
1.2.11. Calcaire de Pithiviers (fig. 1.2.11 et 1.3.2.d)	27
1.2.12. Marne de Blamont (fig. 1.2.12 et 1.3.2.c).....	28
1.2.13. Calcaire de l'Orléanais (fig. 1.2.13 et 1.3.2.b).....	28
1.2.14. Formations détritiques de l'Orléanais et de Sologne (fig. 1.2.14 et 1.3.2.a.).....	28
1.3. Relations spatiales	29
1.3.1. Coupes transversales (fig. 1.3.1. – 1.3.1.a à 1.3.1.p)	29
1.3.2. Cartes d'isoépaisseur (fig. 1.3.2a à 1.3.2.m).....	30
1.3.3. Présentation 3D (fig. 1.3.3).....	31
1.4. Conclusion : Traits structuraux majeurs et géodynamique (fig. 1.4.)	31
2. Caractéristiques lithologiques et hydrodynamiques (fig. 2)	41
2.1. Craie (fig. 2.1)	44
2.2. Eocène détritique (fig. 2.2).....	44
2.3. Arkose de Breuillet (fig. 2.3).....	47
2.4. Calcaire éocène (fig. 2.4 et 2.5).....	47
2.5. Argile verte et Marnes supragypseuses (fig. 2.6)	51

2.6. Calcaire de Brie (fig. 2.7 et 2.8).....	51
2.7. Marnes à huîtres et Molasse d'Etrechy (fig. 2.9)	51
2.8. Sables de Fontainebleau (fig. 2.10 et 2.11).....	56
2.9. Calcaire d'Etampes (2.12 et 2.13).....	56
2.10. Molasse du Gâtinais (2.14).....	60
2.11. Calcaire de pithiviers (2.15 et 2.16)	60
2.12. Marne de Blamont (2.17)	64
2.13. Calcaire de l'Orléanais (2.18).....	64
2.14. Synthèse des données de transmissivités.....	68
3. Conditions de fonctionnement et limites de l'aquifère général de Beauce.....	69
3.1. La démarche et les données utilisées.....	69
3.2. Les différents types de limites hydrogéologiques	70
3.3. Conditions de fonctionnement de l'aquifère de Beauce (fig. 3.3 et 3.3.a à u).....	71
3.4. Les limites de l'aquifère général de Beauce	114
3.5. Limites internes (fig. 3.5 et 3.5.a à d).....	117
4. Conclusion générale	119
5. Bibliographie.....	121

Annexe : Cartographie du toit de la craie sur la région de la Beauce, rapport CGG

Liste des figures

Fig. 1.1.1	- Limites du système aquifère de la Beauce.....	12
Fig. 1.1.2	- Schéma lithostratigraphique synthétique des formations de la Beauce...	16
Fig. 1.2	- Les failles et accidents structuraux dans le bassin de la Beauce.....	*
Fig. 1.2.1	- Carte structurale du toit de la craie.....	*
Fig. 1.2.2	- Carte structurale du toit des formations détritiques éocènes.....	*
Fig. 1.2.3	- Carte structurale de l'Arkose de Breuillet.....	*
Fig. 1.2.4	- Carte structurale du toit des calcaires éocènes.....	*
Fig. 1.2.5	- Carte structurale du toit des Argiles vertes et Marnes supragypseuses.....	*
Fig. 1.2.6	- Carte structurale du toit du Calcaire de Brie.....	*
Fig. 1.2.7	- Carte structurale du toit des Marnes à huîtres et de la Molasse d'Etréchy.....	*
Fig. 1.2.8	- Carte structurale du toit des Sables de Fontainebleau.....	*
Fig. 1.2.9	- Carte structurale du toit du Calcaire d'Etampes.....	*
Fig. 1.2.10	- Carte structurale du toit de la Molasse du Gâtinais.....	*
Fig. 1.2.11	- Carte structurale du toit du Calcaire de Pithiviers.....	*
Fig. 1.2.12	- Carte structurale du toit des Marnes de Blamont.....	*
Fig. 1.2.13	- Carte structurale du toit des Calcaires de l'Orléanais.....	*
Fig. 1.2.14	- Carte structurale du toit des formations détritiques de l'Orléanais et de Sologne.....	*
Fig. 1.3.1.	- Schéma de situation des coupes stratigraphiques.....	*
Fig. 1.3.1.a	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 1.....	*
Fig. 1.3.1.b	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 2.....	*
Fig. 1.3.1.c	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 3.....	*
Fig. 1.3.1.d	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 4.....	*
Fig. 1.3.1.e	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 5.....	*
Fig. 1.3.1.f	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 6.....	*
Fig. 1.3.1.g	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 7.....	*
Fig. 1.3.1.h	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 8.....	*
Fig. 1.3.1.i	- Coupe stratigraphique NW-SE n° 9.....	*
Fig. 1.3.1.j	- Coupe stratigraphique NE-SW n° 1.....	*
Fig. 1.3.1.k	- Coupe stratigraphique NE-SW n° 2.....	*
Fig. 1.3.1.l	- Coupe stratigraphique NE-SW n° 3.....	*
Fig. 1.3.1.m	- Coupe stratigraphique NE-SW n° 4.....	*
Fig. 1.3.1.n	- Coupe stratigraphique NE-SW n° 5.....	*
Fig. 1.3.1.o	- Coupe stratigraphique NE-SW n° 6.....	*
Fig. 1.3.1.p	- Coupe stratigraphique NE-SW n° 7.....	*

* *Volume séparé.*

Fig. 1.3.2.a	- Carte isopache des formations détritiques miocènes.....	*
Fig. 1.3.2.b	- Carte isopache des Calcaires de l'Orléanais	*
Fig. 1.3.2.c	- Carte isopache des Marnes de Blamont.....	*
Fig. 1.3.2.d	- Carte isopache du Calcaire de Pithiviers.....	*
Fig. 1.3.2.e	- Carte isopache de la Molasse du Gâtinais	*
Fig. 1.3.2.f	- Carte isopache du Calcaire d'Etampes.....	*
Fig. 1.3.2.g	- Carte isopache des Sables de Fontainebleau.....	*
Fig. 1.3.2.h	- Carte isopache des Marnes à huîtres.....	*
Fig. 1.3.2.i	- Carte isopache du Calcaire de Brie.....	*
Fig. 1.3.2.j	- Carte isopache des Argiles vertes.....	*
Fig. 1.3.2.k	- Carte isopache des calcaires éocènes.....	*
Fig. 1.3.2.l	- Carte isopache de l'Arkose de Breuillet.....	*
Fig. 1.3.2.m	- Carte isopache des argiles à silex et des formations détritiques éocènes. .	*
Fig. 1.3.3	- Modèle 3D du tertiaire de Beauce	*
Fig 1.3.3.a	- Vue 3D du toit apparent (affleurement) de l'ensemble des formations du bassin de Beauce	32
Fig. 1.3.3.b	- Vue 3D du toit des calcaires de Pithiviers et des formations de l'Orléanais et de Sologne	33
Fig. 1.3.3.c	- Vue 3D du toit des Calcaires d'Etampes et de la Molasse du Gâtinais....	34
Fig. 1.3.3d	- Vue 3D du toit des Sables de Fontainebleau et des Calcaires d'Etampes	35
Fig. 1.3.3.e	- Vue 3D du toit des Calcaires éocènes, des Argiles vertes, du Calcaire de Brie et des Marnes à Huîtres.....	36
Fig. 1.3.3.f	- Vue 3D du toit des Arkoses de Breuillet et des formations détritiques éocènes.....	37
Fig. 1.3.3.g	- Vue 3D du toit de la Craie.....	38
Fig. 2.	- Distribution sur le bassin des valeurs calculées des débits spécifiques, toutes formations confondues.....	43
Fig. 2.1	- Distribution des transmissivités dans la craie.....	45
Fig. 2.2	- Formations détritiques éocènes : distribution des faciès lithologiques ...	46
Fig. 2.3	- Arkose de Breuillet : distribution des faciès lithologiques.....	48
Fig. 2.4	- Calcaire éocène : distribution des faciès lithologiques.....	49
Fig. 2.5	- Calcaire éocène : distribution des transmissivités	50
Fig. 2.6	- Argile verte et marnes supragypseuses : distribution des faciès lithologiques.....	52
Fig. 2.7	- Calcaire de Brie : distribution des faciès lithologiques	53
Fig. 2.8	- Calcaire de Brie : distribution des transmissivités.....	54
Fig. 2.9	- Marnes à huîtres et molasse d'Etréchy : distribution des faciès lithologiques.....	55
Fig. 2.10	- Sables de Fontainebleau : distribution des faciès lithologiques	56
Fig. 2.11	- Sables de Fontainebleau : distribution des faciès lithologiques	58
Fig. 2.12	- Calcaire d'Etampes : distribution des faciès lithologiques.....	59
Fig. 2.13	- Calcaire d'Etampes : distribution des transmissivités	61
Fig. 2.14	- Molasse du Gâtinais : distribution des faciès lithologiques.....	62
Fig. 2.15	- Calcaire de Pithiviers : distribution des faciès lithologiques.....	63

Fig. 2.16	- Calcaire de Pithiviers : distribution des faciès lithologiques.....	65
Fig. 2.17	- Marne de Blamont : distribution des faciès lithologiques	66
Fig. 2.18	- Calcaire de l'Orléanais : distribution des faciès lithologiques	67
Fig. 3.1.	- Carte piézométrique des Basses Eaux de 1994 (niveau oligo-Miocène)... *	
Fig. 3.3.a	- Tronçon n° 1 - Coupe schématique interprétative, transversalement au Val-de-Loire à hauteur de Gien (à rapprocher de la coupe géologique NS07)	74
Fig. 3.3.b	- Tronçon n° 2 - Coupe schématique interprétative, transversalement entre Gien et Châteauneuf-sur-Loire (à rapprocher de la coupe géologique NS05).....	76
Fig. 3.3.c	- Tronçon n° 2 - Schéma interprétatif en plan, correspondant à l'extension possible en rive gauche de la Loire du système hydraulique de Beauce.....	79
Fig. 3.3.d	- Tronçon n° 3 - Coupe schématique interprétative, transversalement au Val-de-Loire entre Châteauneuf-sur-Loire et Blois (à rapprocher de la coupe géologique NS04 de Beaugency)	80
Fig. 3.3.e	- Tronçon n° 4 - Coupe schématique interprétative, transverse au Val-de-Loire sur le val d'Avaray (à rapprocher de la coupe géologique WE01).....	84
Fig. 3.3.f	- Tronçon n° 5 - Coupe schématique interprétative, transversalement à la vallée de la Cisse (à rapprocher de la coupe géologique WE01)	86
Fig. 3.3.g	- Tronçon n° 6 - Coupe schématique interprétative, à l'ouest du bassin à proximité du val de Loir (à rapprocher de la coupe géologique WE04).....	90
Fig. 3.3.h	- Tronçon n° 7 - Coupe schématique interprétative transversale à la vallée de la Drouette (à rapprocher de la coupe géologique NS01, fig. 1.3.1).....	94
Fig. 3.3.i	- Tronçon n° 8 - Coupe schématique interprétative transversale à la vallée de la Remarde (à rapprocher de la coupe géologique LI04, fig. 33.p).....	96
Fig. 3.3.j	- Tronçon n° 9 - Coupe schématique interprétative transversale à la vallée de la Seine (à rapprocher de la coupe géologique LI05, fig. 33.q).....	100
Fig. 3.3.k	- Tronçon n° 10 - Coupe schématique interprétative transversale à la vallée du Loing au nord de Montargis (à rapprocher de la coupe géologique LI06, fig. 3.r)	104
Fig. 3.3.l	- Tronçon n° 11 - Coupe schématique interprétative transversale à la vallée du Vernisson en partie aval (à rapprocher de la coupe géologique LI07 (fig. 33s).....	108
Fig. 3.3.m	- Tronçon n° 12 - Coupe schématique interprétative transversale à la vallée du Vernisson en partie amont (à rapprocher de la coupe géologique LI08, fig. 33.T).....	110
Fig. 3.3.n	- Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI01	83
Fig. 3.3.o	- Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI02	89

Fig. 3.3.p	- Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI03	93
Fig. 3.3.q	- Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI04	99
Fig. 3.3.r	- Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI05	103
Fig. 3.3.s	- Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI06	107
Fig. 3.3.t	- Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI07	112
Fig. 3.3.u	- Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI08	113
Fig. 3.4	- Contour révisé de la zone d'étude du système hydraulique de Beauce..	116
Fig. 3.5	- Communications entre les niveaux aquifères :	*
	a) au toit de la craie,	
	b) au toit des calcaires éocènes,	
	c) au toit des calcaires de Brie,	
	d) au toit des calcaires d'Etampes.	

Liste des tableaux

Tabl. 1	- Cartes géologiques de la France à 1/50 000 utilisées	14
Tabl. 2	- Chronologie stratigraphique des dépôts sédimentaires de la Beauce	18
Tabl. 3	- Nombre de points ayant une mesure de Q/s pour une formation unique	41
Tabl. 4	- Tableau récapitulatif des transmissivités des formations géologiques aquifères de la Beauce	68
Tabl. 5	- Récapitulatif des limites et des conditions aux limites de l'étude de la nappe de Beauce	115
Tabl. 6	- Eléments analytiques relatifs aux niveaux aquifères	119

Introduction

A la demande de l'agence de l'eau Loire-Bretagne (convention 9800063 du 3 août 1998), une importante révision hydrogéologique du système aquifère complexe de la Beauce a été entreprise au BRGM (Service Géologique Régional Centre et département de l'Eau).

Cette étude est un préalable à la réalisation d'un modèle de gestion de "la nappe" de Beauce. Elle est calée sur une révision structurale et hydrogéologique complète du remplissage sédimentaire du bassin. Cette révision a nécessité une réinterprétation d'un très grand nombre de coupes de forages et de diagraphies, en liaison avec la Compagnie Générale de Géophysique. Elle doit permettre de replacer et bien caractériser les niveaux aquifères et les relations entre niveaux.

A ce schéma purement géométrique, s'ajoute une analyse hydrodynamique qui a donné lieu à une relecture et des réinterprétations de la plupart des pompages d'essais, niveau aquifère par niveau aquifère.

Les horizons aquifères, désormais déterminés par leurs caractéristiques hydrodynamiques, ont été étudiés plus particulièrement aux marges de la zone d'étude, afin de déterminer la position et la nature des limites qui commanderont les "conditions aux limites" qui seront intégrées au modèle.

Structure, caractéristiques hydrodynamiques et limites constituent les éléments d'un schéma hydrogéologique tridimensionnel largement illustré dans ce qui suit.

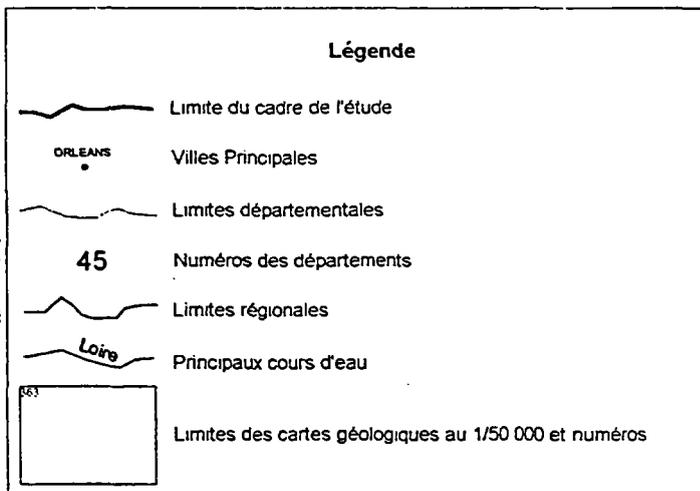
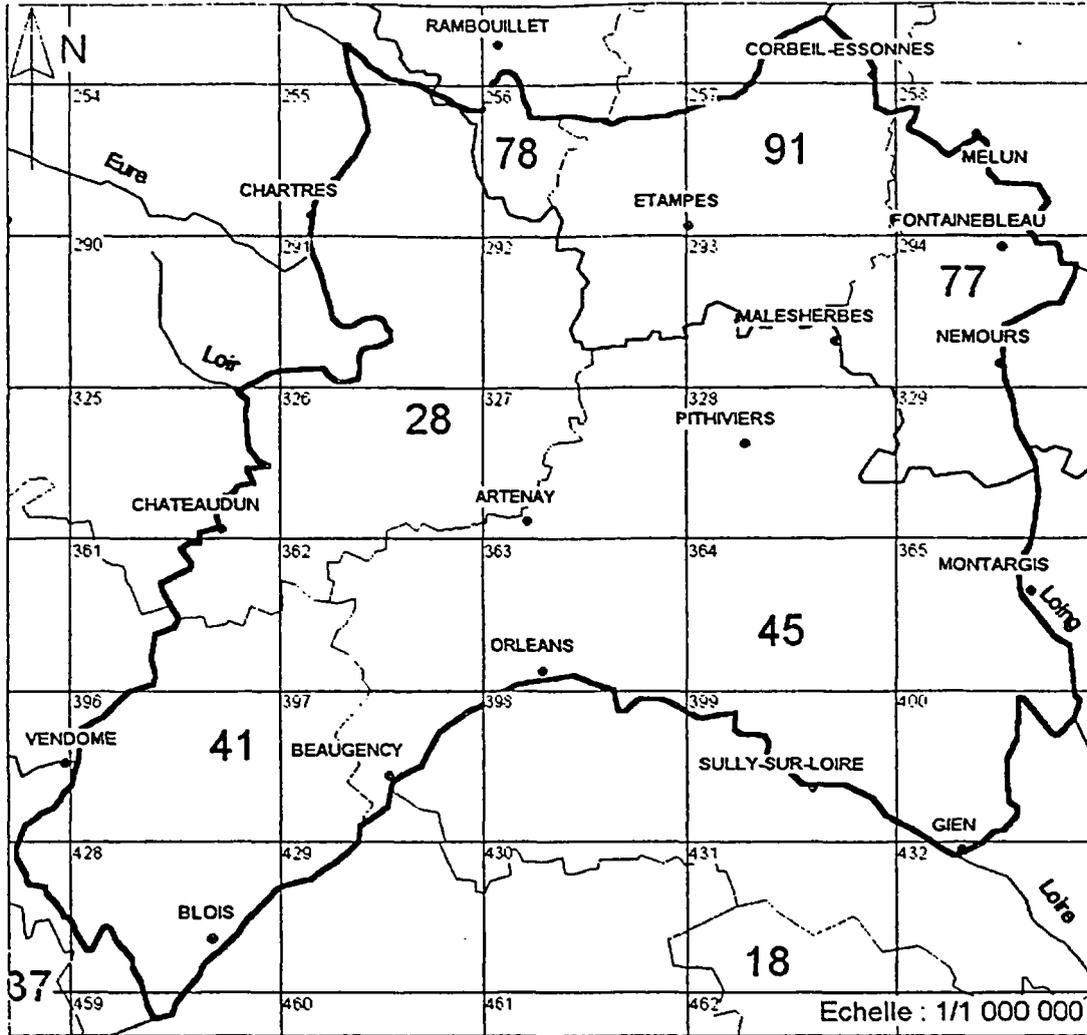


Fig. 1.1.1 – Limites du système aquifère de la Beauce (1/1 000 000 - Studer, 1995).

1. Géométrie des formations géologiques

Une étude réalisée en 1996-1997 (rap. BRGM R 39598), sur financement Etat (ministère de l'Industrie) a permis de réunir un premier ensemble de données issues principalement d'une sélection de forages connus et gérés par la Banque des données du Sous-Sol, dans la perspective de décrire les unités stratigraphiques de la Beauce. Cette étude a été centrée sur la constitution d'une base de données. Un essai fut entrepris pour traduire cartographiquement les informations déduites des données de cette base. Avec le recul, on mesure aujourd'hui l'insuffisance de l'exercice, qui permet au demeurant, en passant de l'information ponctuelle à la représentation des surfaces, de faire apparaître un grand nombre d'incohérences inhérentes aux données qui demandaient à être validées.

Cette base de données vient d'être revue au terme d'un travail long et méticuleux. Aux données traitées et actualisées a été ajoutée une contribution de la Compagnie Générale de Géophysique concernant principalement l'identification des failles et la cartographie structurale actuelle du toit de la Craie en utilisant les données sismiques. Toutes données confondues, ce sont 8 128 points de contact (cotes diverses des toits des formations, non compris les informations sur la topographie) qui viennent d'être traités pour conduire à la représentation structurale qui est présentée ci-après.

La démarche de validation a nécessité la réinterprétation de nombreux forages, l'élimination de certains, trop imprécis, et la recherche de forages complémentaires ou mieux renseignés. Les forages comportant des diagraphies ont été privilégiés, mais leur nombre reste très restreint. A partir de ces données de sondages diagraphiés les plus fiables, les corrélations se sont faites par approche entre les forages voisins sélectionnés. L'interprétation lithostratigraphique est basée sur la description lithologique disponible mais corrigée de la mise en cohérence géométrique au niveau de la surface de chaque toit. Cette cohérence intègre, pour chaque toit de formation, les limites à l'affleurement. Pour contraindre la topographie de façon plus détaillée, par rapport au MNT à la maille kilométrique, de nombreux points cotés et géologiquement renseignés ont du être intégrés à la base de données.

Concernant spécifiquement le toit de la craie, les données d'origine pétrolière ont été utilisées et la CGG a assuré la compilation de données sismiques. Les contours cartographiques issus des cartes géologiques à 1/50 000 (tabl. 1) ont dû être modifiés en certains points pour intégrer les données de forages certifiées.

La zone d'étude telle que initialement définie (fig. 1.1.1) a été étendue dans l'est du Gâtinais afin de mieux cerner les limites du bassin géologique.

	DREUX ²¹⁶	NOGENT LE ROTROU ²¹⁷	RAMBOUILLET ²¹⁸	CORBEIL ²¹⁹		
		CHARTRES ²⁵⁵	DOURDAN ²⁵⁶	ETAMPES ²⁵⁷	MELUN ²⁵⁸	NANGIS ²⁵⁹
	ILIERS ²⁹⁰	VOVES ²⁹¹	MEREVILLE ²⁹²	MALESHERBES ²⁹³	FONTAINEBLEAU ²⁹⁴	MONTEREAU FAUT YONNE ²⁹⁵
	CHATEAUDUN ³²⁵	ORGERES ³²⁶	NEUVILLE ³²⁷	PITHIVIERS ³²⁸	CHATEAU LONDON ³²⁹	CHEROY ³³⁰
	CLOYES ³⁶¹	PATAY ³⁶²	ORLEANS ³⁶³	BELLEGARDE DU LOIRET ³⁶⁴	MONTARGIS ³⁶⁵	COURTENAY ³⁶⁶
VENDOME ³⁹⁵	SELOMMES ³⁹⁶	BEAUGENCY ³⁹⁷	LA FERTE ST AUBIN ³⁹⁸	CHATEAUNEUF SUR LOIRE ³⁹⁹	CHATILLON COLIGNY ⁴⁰⁰	BLENEAU ⁴⁰¹
CHATEAURENAULT ⁴²⁷	BLOIS ⁴²⁸				GIEN ⁴³²	
AMBOISE ⁴⁵⁸	MONTRICHARD ⁴⁵⁹					

Tabl. 1 - Cartes géologiques de la France à 1/50 000 utilisées.

Il a été convenu de retenir comme "Formations" dites de Beauce, aquifères ou non, l'ensemble sédimentaire compris entre la surface topographique et le toit de la craie, ramené à 13 ensembles (Formation ou ensemble de Formations).

Parmi les difficultés rencontrées, il faut signaler que l'extension de ce découpage stratigraphique à l'ensemble du bassin a été rendu difficile du fait de datations imprécises ("Calcaires du Gâtinais" d'âge Eocènes ou Stampien ?...) ou inexistantes ("Calcaire de Beauce" d'âge Stampien ou Aquitanien ?...). Dans ces cas, des choix stratigraphiques ont été pris sur la base de niveaux identifiables en sondages (présence de la Molasse du Gâtinais ou des Marnes de Blamont par exemple) ou pour des raisons de cohérence géométrique.

Pour chaque formation, une analyse variographique de la structure des données a été effectuée. L'interpolation entre les points de contrôle a été réalisée par krigeage à l'aide du modèle géostatistique approprié à chaque formation en tenant compte des failles.

1.1.1. Succession stratigraphique

Reposant en discordance au-dessus de la Craie, les formations géologiques constituant le bassin de Beauce sont d'âge éocène à miocène inférieur (Aquitanien). Les dépôts sont, globalement, une alternance de calcaires et de marnes intégrant à plusieurs reprises des intercalaires sablo-argileux.

Dans la zone d'étude, la distinction des différentes unités repose le plus souvent sur l'homogénéité de leurs faciès à échelle régionale. Ainsi des formations à calcaires dominants (Calcaire de Brie) sont distinguées d'horizons argilo-marneux (Marnes à huîtres).

La succession retenue repose parfois sur l'âge, ce qui permet de regrouper des formations locales à variations faciologiques rapides ; ainsi la Molasse du Gâtinais (base de l'Aquitainien) incorpore les Marnes de Voise, les Calcaires de Berchères et les Calcaires de Saint-Marc. Dans le même esprit tous les dépôts marneux et calcaires d'âge Lutétien à Ludien sont regroupés sous un seul niveau appelé " calcaires éocènes ".

Les formations suivantes ont été distinguées, dans l'ordre stratigraphique des plus anciennes vers les plus récentes (fig. 1.1.2) :

- Argiles à silex et formations détritiques éocènes, dans lesquelles les Arkoses de Breuillet ont été individualisées en zone nord-est ;
- Calcaires éocènes ;
- Argiles vertes et Marnes supra-gypseuses ;
- Calcaire de Brie ;
- Marnes à huîtres ;
- Sables de Fontainebleau ;
- Calcaire d'Etampes ;
- Molasse du Gâtinais ;
- Calcaires de Beauce-Pithiviers ;
- Marnes de Blamont ;
- Calcaire de l'Orléanais.

Les formations de Beauce sont partiellement recouvertes par des dépôts plus tardifs ; seuls les plus importants en surface et en épaisseur, les Marnes et argiles de l'Orléanais et les Sables et argiles de Sologne (Burdigalien à Pliocène), ont fait l'objet d'une cartographie.

Les altérations et les limons recouvrant souvent les calcaires lacustres n'ont pas été distingués en raison de leur faible épaisseur (2 à 3 m d'épaisseur maximum). Les formations alluviales développées uniquement en bordures de l'étude (Loire, Loing, Seine, Loir) et sur de très petites surfaces n'ont pas été prises en compte.

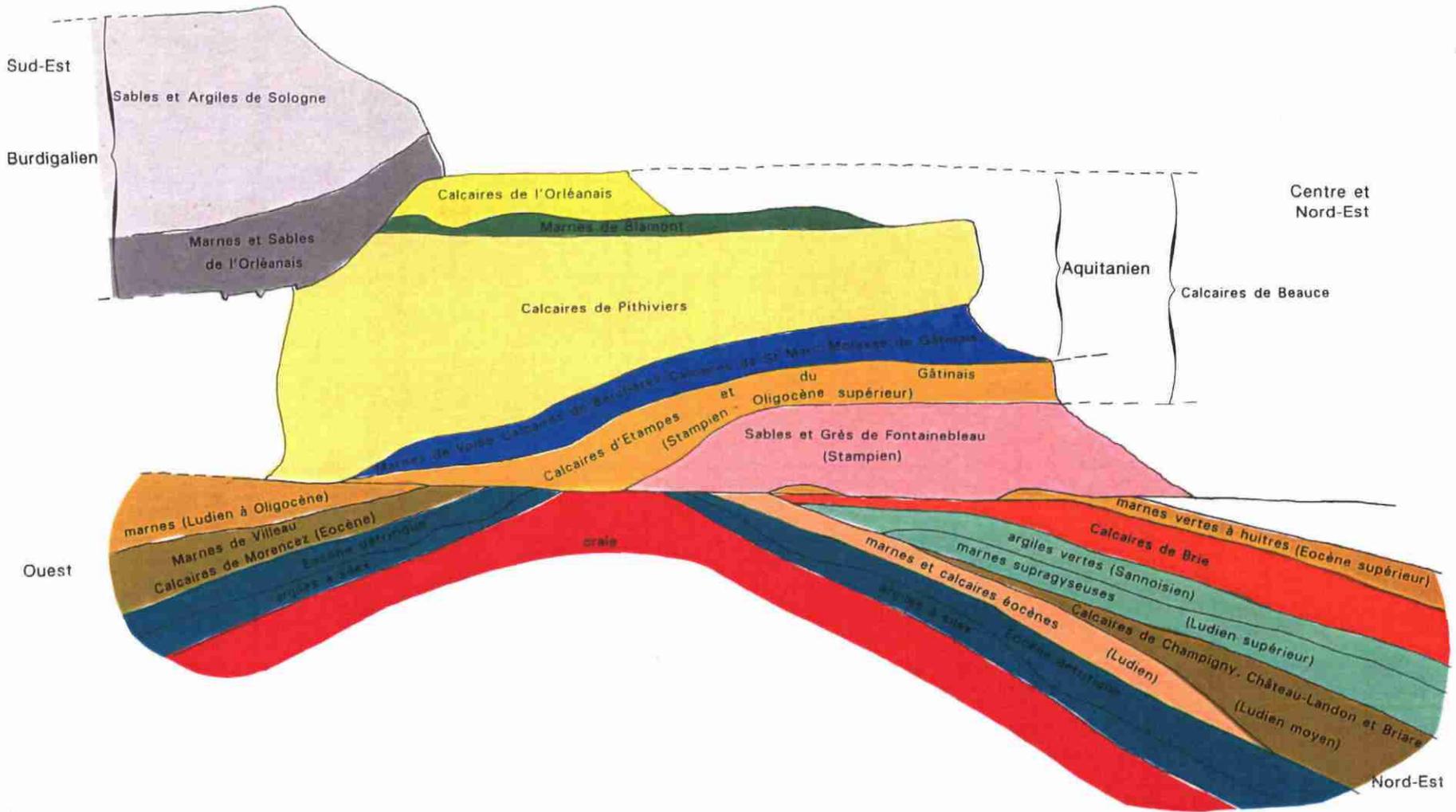


Fig. 1.1.2 – Schéma lithostratigraphique synthétique des formations de la Beauce.

1.1.2. Rappel des conditions de dépôts

A la fin du Crétacé et au Paléocène, l'émersion du Sud du bassin de Paris est totale. Elle s'accompagne de l'érosion partielle de la craie et de la formation d'argiles à silex par altération.

Un bassin subsident se crée sur la Basse Normandie, l'Ile-de-France et l'ensemble Beauce-Sologne. En Beauce, le dépôt centre (maximum d'épaisseur) du bassin se localise au sud-est de Pithiviers où la " fosse " reçoit 230 m (cote - 100 m) de sédiments.

L'historique du développement du bassin de Beauce, résumé dans le tableau 1, fait apparaître ce domaine comme essentiellement lacustre, à sédimentation sporadiquement marquée par des influences marines. Les discontinuités correspondent à des épisodes d'émersion sans dépôt ou avec apports fluviaux, qui s'observent à la base des transgressions marines. Le tableau 2 exprime également le positionnement stratigraphique en étages internationaux et en dénomination locale, ainsi qu'un calage en âges absolus pour les principales coupures entre les étages.

Les incursions marines tertiaires atteignent l'Ile-de-France, via la Normandie, du Danien jusqu'au Stampien, et pour certains épisodes l'influence marine envahit temporairement le nord de la Beauce :

- au Lutétien (1) (voir carte calcaires éocènes) ;
- au Ludien-Sannoisien (2) (voir carte Argile verte et Marnes supragypseuses) ;
- au Stampien inférieur (3) (voir cartes Marnes à huîtres et Molasse d'Etrecy, Sables de Fontainebleau).

1.2. EXTENSION ET STRUCTURE : PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS (cf. fig. 1.2 dans volume séparé)

L'étude met en valeur le rôle majeur joué par le prolongement nord des failles de Sennely. Le bassin est nettement décomposé en deux secteurs : l'un occidental faiblement subsident, structuré en monoclinale à pendage vers l'est et l'autre oriental constitué en fosse fortement subsidente et bordée de seuils. La fosse est centrée à l'est de Pithiviers où elle atteint la cote -100 m NGF.

La structure générale du fond du bassin, en particulier la fosse de Pithiviers, est contrôlée par le dédoublement de la faille de Sennely au passage de la Loire. La faille principale, appelée **faille de Sennely** dans l'étude Beauce, se prolonge au nord-nord-ouest et se raccorde à la faille de la Seine. Elle constitue une bordure abrupte à l'ouest. Un faisceau divergent s'individualise au nord-nord-est ; appelé ici faisceau de Beaune-la-Rolande, il engendre une bordure à remontée progressive en marches d'escalier.

Etudes préalables à la réalisation d'un modèle de gestion de la nappe de Beauce

Formations	Milieu de dépôts et tectonique	Etages locaux	Age
Sable et argile de Sologne	Fluvatile	Miocène, <i>Burdigalien</i>	- 16 MA
Marne et sable de l'Orléanais	Fluvio-lacustre	Miocène, <i>Burdigalien</i>	- 20 MA ?
Discontinuité	Lacune, formation du réseau fluvial préligérien, surrection du Massif Central		?
Calcaire de l'Orléanais	Lacustre résiduel	Miocène, <i>Aquitani</i>	- 20 MA ?
Marne de Blamont	Lacustre restreint	Miocène, <i>Aquitani</i>	
Discontinuité			?
Calcaire de Pithiviers	Lacustre généralisé faille de Sennely active	Miocène, <i>Aquitani</i>	
Molasse du Gâtinais Mame de Voise	Lacustre généralisé, apports fluviaux du sud-est en Gâtinais, faille de Sennely active	Miocène, <i>Aquitani</i>	- 23,5 MA
Discontinuité	Lacune	Oligocène, <i>Chattien</i>	- 23,5 à - 28 MA
Calcaire d'Etampes	Lacustre généralisé, formation d'un seuil sur la Seine, le bassin de Beauce est indépendant, faille de Sennely et Beauce-la-Rolande actives	Oligocène, Rupélien, <i>Stampien supérieur</i>	- 28 MA
Discontinuité	Retrait de la mer		?
Sables de Fontainebleau	Marin littoral, dunaire, au nord	Oligocène, Rupélien, <i>Stampien supérieur</i>	- 32 MA ?
Marnes à huîtres, molasse d'Etrechy	Lagunaire au nord faille de Sennely active	Oligocène, Rupélien, <i>Stampien inférieur</i>	
Discontinuité	Transgression marine 3 au nord	<i>Stampien inférieur</i>	?
Calcaire de Brie	Lacustre au nord-est ouvert vers la Brie, faille de Sennely active	Oligocène, Rupélien, <i>Stampien inférieur</i>	
Argile verte de Romainville	Lagunaire au nord-est	Oligocène, Rupélien, <i>Stampien inférieur faciès Sannoisien</i>	- 34 MA
Marnes supragypseuses	Lagunaire au nord-est	Eocène, Priabonien <i>Ludien supérieur</i>)	- 34 MA
Discontinuité	Transgression marine 2 venant d'Ile de France, au nord-est	<i>Ludien supérieur</i>	
Calcaires éocènes : Briare (2), Château-Landon (2), Champigny (2), Morancez (2), Villeau (2), calcaires détritiques (1)	Laguno-marin (1) au nord et fosse de Pithiviers en liaison avec la mer lutétienne puis lacustre généralisé (2) forte activité des failles de Sennely et Beauce-la-Rolande, fosse reliée à l'Ile de France	Eocène, Bartonien <i>(Ludien moyen)</i> à Lutétien	- 37 MA
Discontinuité	Transgression marine 1 au nord, formation du bassin lacustre au sud, forte activité des failles de Sennely et Beauce-la-Rolande	Lutétien	- 46 MA
Arkose de Breuillet	Fluvatile	Eocène, Yprésien	- 46 à - 53 MA
Formations détritiques éocènes	Fluvatile, paléosol, forte activité tectonique dont faille de Sennely	Paléocène, <i>faciès sparnacien</i>	
Argile à silex	Paléosol, altérite	Paléocène	
Discontinuité	Continentalisation, érosion, altération	Crétacé terminal à Paléocène	- 60 à - 70 MA ?
Craie	Marin	Crétacé supérieur, Turonien à Sénonien	

Tabl. 2 - Chronologie stratigraphique des dépôts sédimentaires de la Beauce.

La bordure sud-est est contrôlée par le versant ouest du horst de “Nogent-sur-Vernisson” dont les effets se font sentir de Gien à Nemours.

Les failles de direction armoricaine contrôlant la bordure ouest semblent perdre de leur influence dans le bassin au delà d'une ligne Herbault-Patay-Aunay. La zone étudiée n'est qu'une partie d'un bassin largement ouvert au sud, vers la Sologne. Un seuil apparaît sur Orléans, délimitant un petit sous-bassin au nord d'Orléans.

Chaque formation est décrite ci-après, en considérant, tour à tour, l'extension cartographique, puis la structure du toit.

Afin de bien saisir la succession des événements sédimentaires et structuraux, la présentation est faite dans l'ordre chronologique.

1.2.1. Craie (cf. fig. 1.2.1 dans volume séparé)

L'aire cartographiée est celle de la limite d'étude mais, bien évidemment, la formation géologique de la Craie déborde largement cette aire. Le détail lithologique et stratigraphique de la Craie ne sera pas abordé dans le cadre de l'étude.

Une étude spécifique du toit de la Craie a été demandée à la CGG. La carte en isohypses (rapport en annexe), tracée manuellement, prend en compte les forages sélectionnés par le BRGM : 317 carottages sismiques, 154 forages pétroliers, 68 points recalculés sur des profils sismiques et des informations structurales (failles) recueillies sur les profils sismiques. L'apport principal de cette étude est la mise en évidence de systèmes de failles majeures principalement démontrés par les profils sismiques : faille de Sennely, faisceau de Beaune-la-Rolande.

La représentation du toit de la Craie a été reprise en tracé interpolé (fig. 1.2.1) en utilisant l'ensemble des données ponctuelles BRGM + CGG. Le réseau de failles utilisé tient compte des différentes sources d'information.

La comparaison des deux documents fait apparaître des différences importantes en zone centre-ouest du bassin. Il s'avère que CGG utilise pour le secteur X = 578, Y = 2375 des valeurs trop profondes (forage Chicheny 1 à description incohérente et un profil sismique mal calibré). Une structure haute apparaît dans le secteur X = 565, Y = 2350, dessinée à partir de forages mal analysés qui n'ont pas atteint la craie. Ces deux structures ne peuvent pas être validées.

La carte mixte BRGM – CGG (fig. 1.2.1), nettoyée des deux anomalies signalées, et la carte CGG (annexe) rendent mieux compte des principales structures connues sur les bordures et apportent des informations nouvelles sur le prolongement nord de la faille de Sennely.

Dans le rapport de 1997 (fig. 4), trois prolongements de la faille de Sennely étaient suggérés : la faille de Sennely (s.s.) obliquant vers le nord-ouest, traversait la Loire vers Sandillon et s'amortissait ensuite ; un relais vers le nord était assuré par une faille dite de Césarville et une faille divergente cartographiée à Saint-Benoit obliquait vers le nord-est. L'étude 1999 ne confirme pas l'existence d'une faille post-crétacée vers le nord-ouest mais, par contre, confirme bien le rôle primordial des deux autres. La faille majeure ex "Césarville" a été rebaptisée Sennely. La faille de Saint-Benoit ne représente qu'un des accidents du faisceau nord-nord-est, aussi le nom n'a-t-il pas été retenu au profit du faisceau de Beauce-la-Rolande.

L'information structurale majeure est la forte asymétrie du bassin, contrôlée en grande partie par une faille profonde majeure : la faille de Sennely, qui délimite à l'est une fosse dépendante de l'Ile-de-France, alors que la partie ouest appartient à un bassin peu subsident développé au sud de la Loire.

La fosse principale dite "fosse de Pithiviers", est orientée nord-sud et la partie la plus profonde se situe à l'altitude absolue -100 m NGF. Elle est bordée à l'ouest par la faille de Sennely passant du sud au nord à Châteauneuf et Méréville vers Rambouillet et à l'est par un faisceau de failles dit de "Beauce-la-Rolande" orienté nord 10 - nord 20¹ passant la Loire entre Châteauneuf et Ouzouer-sur-Loire (Saint-Benoit) et dirigé au nord vers Puiseaux. La remontée orientale est très pentée et fortement faillée. Au nord, la fosse de Pithiviers s'ouvre vers l'Ile-de-France par un seuil qui remonte à la cote - 30 m. En Gâtinais, la limite du bassin de Beauce coïncide avec une remontée de la craie sous la forme d'un horst orienté nord 10 - nord 20 passant à Gien.

La partie occidentale du bassin est irrégulière et accidentée de petites fosses (nord Orléanais, Blésois). La remontée ouest est très fortement accidentée par les structures armoricaines dont les effets s'estompent rapidement vers le bassin.

1.2.2. Eocène détritique (cf. fig. 1.2.2 et 1.3.2.m dans volume séparé)

L'ensemble cartographié regroupe tous les faciès argilo-détritiques compris entre la Craie "saine" et les dépôts carbonatés lacustres éocènes. La formation est faiblement développée (fig. 1.3.2.m) à l'est de la faille de Sennely et dans le secteur sud-est l'épaisseur varie de 0 à 20 m le plus souvent. On observe un épaissement local sur la retombée des horsts de Marchenoir et d'Ouzouer-le-Marché, au nord de Blois. Des lacunes s'observent en de nombreux points, relativisant le rôle de barrière imperméable qu'on lui accorde généralement. Au nord-est, et limité vers l'ouest par la faille de Sennely dont le rôle synsédimentaire est évident, un épaissement important apparaît de Méréville à Etrechy, ainsi qu'au-delà du seuil d'Ile-de-France. Cet épaissement est lié au développement des argiles sparnaciennes.

¹ N20°E signifie que l'azimut de la faille est NNE-SSW, faisant un angle de 20° vers l'est par rapport au méridien du lien (convention internationale). Notation abrégée : Nord 20 ou N20.

La structure du bassin (fig.1.2.2.) est similaire dans ses grands traits à celle donnée par le toit de la Craie. Toutefois on note un effet de lissage généré par un comblement sédimentaire qui fait disparaître une partie des creux et bosses du toit de la Craie.

Les dépôts détritiques éocènes atténuent le toit de la Craie mais conservent la forme générale du bassin.

Le trait structural majeur reste la fosse de Pithiviers (cote - 80 m) ouverte sur l'Île-de-France par un seuil situé vers la cote - 10 m.

La faille de Sennely est, de toute évidence, active car elle est colmatée par une accumulation détritique. Une observation similaire peut être faite sur la partie méridionale du faisceau de failles de Beaune-la-Rolande.

Les structures sont identiques à celles du toit de la craie sur la bordure ouest du bassin.

1.2.3. Arkose de Breuillet (cf. fig. 1.2.3 et 1.3.2.l dans volume séparé)

La formation est limitée au nord-est du bassin. Elle se décompose en plusieurs corps insérés par chenalisation (fig. 1.3.2.l) dans les formations argileuses cartographiées dans l'Eocène détritique. Au nord (fig. 1.2.3.), autour du point haut (cote + 110 m) de la Remarde, un premier corps épais de 5 à 16 m plonge vers le sud et atteint la cote + 16 m. A l'est, un autre corps épais de 20 à 50 m, de forme allongée, s'étend de la cote + 20 m au nord-est de Fontainebleau, pour atteindre la cote - 30 m vers Malesherbes. Les deux corps principaux sont reliés en amont par une plage étroite depuis la cote + 30 m jusqu'à la cote - 25 m.

Des corps chenalisés sableux s'insèrent dans les argiles éocènes, mettant en liaison les calcaires éocènes et la Craie.

Cette formation à dominante sableuse, probablement drainante, affleure autour de la Remarde, plonge vers le sud-ouest, pour atteindre en continuité la cote - 30 m.

1.2.4. Calcaires éocènes (cf. fig. 1.2.4 et 1.3.2.k dans volume séparé)

Les dépôts lacustres calcaires éocènes s'étendent (fig. 1.3.2.k) très largement dans toutes les directions du bassin, probablement au-delà des limites d'érosion actuelles.

Un sous-bassin en forme de sillon, contrôlé par les failles de Sennely et de Beaune-la-Rolande, se développe depuis la Loire jusqu'à la Seine.

Le bassin s'ouvre largement, vers l'Île-de-France, dont il est manifestement une extension. Les faciès du sillon au Nord montrent des influences marines, alors que le

reste du bassin contient des calcaires lacustres. Les épaisseurs voisinent 90 m, ce qui est considérable.

La partie sud de ce sous-bassin préfigure l'amorce de la fosse de Pithiviers.

Dans le reste du bassin, sur la moitié ouest, les dépôts essentiellement lacustres constituent une couche de faible épaisseur (10 à 20 m). Un petit sous-bassin axé sur Patay s'individualise, l'épaisseur y dépasse 30 m. En bordure sud-est, on observe un dispositif à dépôts très peu épais.

Le corps principal des calcaires éocènes est appuyé, en décalage vers le sud-est, sur le corps principal de l'Eocène détritique, soulignant le déplacement du dépôt centre du bassin.

La faille de Sennely apparaît comme une limite paléogéographique majeure. Elle contrôle l'extension du domaine épais (40 à 90 m) et fortement subsident. La structure actuelle du toit (fig. 1.2.4.) montre un rejet maximum de 20 m. Il est donc certain que la faille a connu une activité à l'Eocène moyen (Lutétien à Ludien moyen) et une activité ultérieure. La fosse de Pithiviers montre une bordure orientale faillée (faille de Beaune-la-Rolande) puis une pente faible se redressant sur l'extrême périphérie. Vers l'Ile-de-France, le seuil n'existe plus, il est remplacé par une pente faible et régulière, orientée vers le sud-ouest. Les calcaires éocènes du sillon de Pithiviers affleurent dans la vallée de la Seine.

Dans la moitié ouest du bassin, une fosse axée sur Neuville-aux-Bois, à la cote + 30 m, ne contient que des dépôts peu épais (20 m au maximum). Cette fosse surplombe la fosse de Pithiviers d'une dizaine de mètres. Une pente faible marque le fond de la fosse sur l'Orléanais jusqu'à Méréville. Vers la bordure ouest, la pente se redresse régulièrement.

1.2.5. Argile verte et Marnes supragypseuses (cf. fig. 1.2.5 et 1.3.2.j dans volume séparé)

Les Marnes supragypseuses sont des dépôts lagunaires dépendants d'un domaine plus marin présent en Ile-de-France. Cette formation est en partie synchrone des derniers dépôts lacustres enregistrés en Beauce et intégrés dans la formation compréhensive cartographiée "calcaires éocènes".

L'aire d'extension des Marnes, non détaillée ici, est limitée à la bordure nord-est proche de la Seine. La formation n'atteint pas la faille de Sennely. Les limites s'inscrivent à l'intérieur de l'extension des Argiles vertes.

Les Argiles vertes (s.s.) atteignent la faille de Sennely et la dépassent vers l'ouest où elles ont subsisté sous forme de lambeaux très peu épais. Vers le sud, elles empruntent

un trajet décalé vers la bordure est du sillon de Pithiviers. Les épaisseurs atteignent rarement 30 m.

La faille de Sennely ne joue pas sur l'épaisseur de la formation, mais son rôle de limite entre un domaine stable à l'ouest et un domaine subsident au nord-est est évident. Le bassin de Pithiviers n'est pas actif.

La Beauce, sur son ensemble, n'enregistre plus de dépôts lacustres ; elle s'assèche probablement. Une lagune subsiste au nord-est, dépendante de l'Ile de France.

La structure (fig. 1.2.5.) est une demi-cuvette dont le point bas est situé au sud-est de Pithiviers à la cote - 18 m. La remontée vers l'Ile-de-France se fait par une pente régulière. La faille de Sennely décale le toit de 25 à 30 m avec affaissement vers l'est.

1.2.6. Calcaire de Brie (cf. fig. 1.2.6 et 1.3.2.i dans volume séparé)

Le Calcaire de Brie s'inscrit sensiblement dans la même aire de répartition (fig.1.2.3.i) que le dépôt des Argiles vertes ; c'est aussi le prolongement d'un niveau largement développé en Ile-de-France.

Un lac, légèrement extensif au sud et à l'ouest, se substitue à la lagune précédente.

Une extension vers le nord-ouest déborde la faille de Sennely et une surépaisseur apparaît à son passage indiquant son activité synsédimentaire.

Sur l'ensemble du domaine, les épaisseurs sont relativement régulières comprises entre 10 et 20 m. Quelques épaisissements, vers 30 mètres, s'observent, en particulier à l'ouest de Milly-la-Forêt.

La structure (fig. 1.2.6.) est une demi-cuvette centrée à l'est de Pithiviers. La pente est régulière vers le sud, depuis l'Ile-de-France (cote + 100 m) jusqu'à la fosse de Pithiviers (cote + 5 m). La faille de Sennely décale le toit de 20 m à Méréville et de 5 m à Dourdan. Le rejet semble s'amortir à l'approche de la structure transverse de la Remarde. A l'ouest de la faille, la remontée est plus rapide.

1.2.7. Marnes à huîtres et Molasse d'Etrechy (cf. fig. 1.2.7 et 1.3.2.h dans volume séparé)

Ces dépôts à faciès littoraux appartiennent à la transgression marine stampienne qui arrive d'Ile-de-France.

L'extension cartographique (fig. 1.3.2.h) présente un corps principal allongé de Dourdan à Beaune-la-Rolande et, en périphérie, des " flaques " satellites d'épaisseurs irrégulières. Les dépôts sont peu épais et discontinus et surtout, fait important, ils sont ultérieurement érodés par les Sables de Fontainebleau vers la vallée de la Seine.

A la base, les Marnes à huîtres, présentent un faciès très argileux et la Molasse (ou Calcaire grossier) d'Etrechy qui leur succède est décrite à l'affleurement comme carbonatée et bioclastique. En sondage, les deux niveaux sont difficilement dissociables et l'intervalle argileux, bien visible en diagraphies, compris entre les calcaires lacustres et les Sables de Fontainebleau, est traité ici de façon indivise. La limite supérieure est déterminée par l'apparition de sables non argileux, attribués aux Sables de Fontainebleau.

Sur le périmètre étudié, le niveau affleure peu (Remarde) et la carte est construite essentiellement à partir des forages. L'épaisseur actuelle est le plus souvent inférieure à 10 m, mais la troncature infra Sables de Fontainebleau oblitère la répartition initiale. Dépendante de l'Ile-de-France, il est probable que l'épaississement de la série devait se faire vers le nord. Au vue de la configuration de la formation résiduelle, la subsidence affecte uniquement le nord-est et l'extension est en partie contrôlée par le jeux du tronçon nord de la faille de Sennely.

La structure (fig. 1.2.7.) de cette couche, bien qu'irrégulière, s'inscrit dans une cuvette tronquée en bordure. Le point bas est encore situé au sud-est de Pithiviers, vers la cote + 17 m. La fosse de Pithiviers s'extravase largement.

Le rôle d'écran joué par ces formations revêt un caractère local uniquement sous les Sables de Fontainebleau.

1.2.8. Sables de Fontainebleau (cf. fig. 1.2.8 et 1.3.2.g dans volume séparé)

La transgression des Sables de Fontainebleau est largement discordante et provoque la troncature partielle des Marnes à huîtres mais aussi de toutes les formations sous-jacentes jusqu'à la Craie. Cette discordance apparaît au niveau de la Seine et se prolonge vers l'ouest où les Sables transgressent le dôme de la Remarde et dépassent la vallée de l'Eure vers le Drouais.

Un large cordon dunaire axé sur une ligne Rambouillet-Nemours se développe. Le rivage marin est maintenu au nord et vers le sud. Le lac de Beauce s'installe à nouveau. Une barrière sédimentaire et structurale sépare de façon définitive l'Ile-de-France et la Beauce.

Par rapport aux Marnes à huîtres, les Sables de Fontainebleau s'étalent au nord-ouest et au sud-est. Ils gagnent vers l'ouest une vingtaine de kilomètres en direction de Voves. Au sud-est, une butte de Marnes à huîtres n'est pas recouverte.

Les épaisseurs atteignent 70 m et ces maximums sont à rapporter à la construction de crêtes dunaires dont le détail n'est pas visible à l'échelle de l'information traitée, mais

dont l'axe majeur apparaît bien. La faille de Sennely, qui jusqu'à présent guidait la sédimentation, ne joue qu'un rôle discret.

La structure au toit (fig. 1.2.8.) prend une forme de portion de cuvette très élargie par rapport aux géométries des niveaux précédents. Le pendage est régulier du nord vers le sud. Le point haut se situe vers Rambouillet avec + 175 m d'altitude. Le plongement maximum s'observe dans la fosse de Pithiviers jusqu'à Beaune-la-Rolande où la cote + 30 m est atteinte. La bordure orientale, vers le Loing, déforme le pendage général en l'infléchissant vers l'ouest. La notion de fosse de Pithiviers, limitée par les failles de Pithiviers et de Beaune-la-Rolande, s'estompe au profit d'un bassin en cours d'élargissement. La faille de Sennely n'apparaît plus au nord et présente un rejet de 20 m dans la partie sud (nombre réduit de points d'observation).

1.2.9. Calcaire d'Etampes (cf. fig. 1.2.9 et 1.3.2.f dans volume séparé)

Le bassin lacustre est rétabli dans un bassin de Beauce structurellement autonome.

L'aire d'extension (fig. 1.3.2.f) regagne l'ancien territoire éocène en le débordant encore au nord-ouest et au sud.

La répartition des épaisseurs illustre bien la notion de bassin de Beauce (et Sologne) avec un amincissement de bordure assez rapide et un épaissement central élargi sur la fosse de Pithiviers et un nouveau sous-bassin en nord Orléanais.

Il faut noter que les structures de direction armoricaine (Ouzouer-le-Marché, Marchenoir, Ouzouer-sur-Loire) ainsi que le horst nord-sud à l'ouest du Loing (Nogent-sur-Vernisson) sont déjà acquis et conditionnent le tracé des rivages.

L'aire de sédimentation (fig. 1.3.2.f) est très élargie et est à nouveau influencée par les failles de Sennely et de Beaune-la-Rolande, pour leur partie sud seulement. Plusieurs sous-bassins s'individualisent, dont deux principaux dans lesquels les épaisseurs de dépôt dépassent 50 m : l'un sur Orléans-Neuville-aux-Bois, l'autre sur Châteauneuf - Beaune-la-Rolande. Dans le bassin de Châteauneuf, les calcaires atteignent jusqu'à 70 m d'épaisseur. Le jeu des failles est synchrone de la sédimentation.

La structure générale (fig.1.2.9) est celle d'un demi bassin ouvert vers le sud. Un basculement général du nord vers le sud est attesté par un point haut vers Epernon au nord (cote + 170 m environ) alors que la bordure ouest se situe vers 130 m et la bordure est vers 100 à 130 m. La zone basse, ouverte sur la Sologne, montre des cotes voisines de + 70 m au passage de la Loire.

Le sous-bassin d'Orléans - Neuville, complexe dans le détail, a une structure en cuvette centrée sur une zone à + 70 m située à mi-distance d'Orléans et Neuville. A Orléans, le toit est relevé vers + 90 m, formant un seuil.

Le sous-bassin de Châteauneuf - Beaune-la-Rolande est contrôlé par les failles de Sennely et le faisceau de failles de Beaune-la-Rolande. Le rejet actuel, qui s'est établi postérieurement à la mise en place du Calcaire d'Etampes, est de l'ordre de 20 m au nord de Châteauneuf. Il s'amortit à 10 m au niveau de Pithiviers, pour disparaître au nord.

1.2.10. Molasse du Gâtinais (cf. fig. 1.2.10 et 1.3.2.e dans volume séparé)

La Molasse traduit un ralentissement relatif de la sédimentation calcaire lié à un épisode plus humide. Des apports argilo-sableux gagnent le bassin de Beauce par transferts alluviaux et un delta important envahit le Gâtinais.

Les limites du bassin (fig. 1.3.2.e) se modifient légèrement, l'extension paléogéographique est en régression par rapport au Calcaire d'Etampes sur la bordure ouest depuis Selommes jusqu'au sud de Morancez, alors qu'elle transgresse plus au nord.

Par ailleurs, les contours nord et est sont des limites d'érosion. Elles se situent en retrait de 10 à 15 km des limites des Calcaires d'Etampes. Des épaisseurs maximales de 30 à 40 m sont atteintes dans le Gâtinais au nord-est d'Ouzouer-sur-Loire, correspondant à un corps deltaïque issu de l'Est. La faille de Sennely, active au Sud, limite l'extension des épandages épais. A l'ouest de la faille, la formation essentiellement argilo-marneuse se réduit à quelques mètres d'épaisseur et des lacunes se développent, en particulier une très large centrée sur Neuville-aux-Bois. En bordure ouest, l'épaisseur est fortement réduite (1 à 2 m.) au point que les cartes n'en font généralement pas état.

La structure (fig. 1.2.10) est une demi-cuvette ouverte sur la Sologne. Le point haut maximal est situé sur l'extrême nord, vers + 150 m. Les points bas sont situés en Sologne en dessous de + 80 m. Des prolongements vers le nord de ces zones basses solognotes s'individualisent, l'un au nord-est de Blois, l'autre dans le faisceau de failles de Beaune-la-Rolande.

Le sous bassin de Châteauneuf n'apparaît plus dans sa géométrie précédente. Le centre des dépôts se déplace de 10 km vers le sud-est. Un point très bas (cote + 65 m) est atteint à l'aplomb du faisceau de failles de Beaune-la-Rolande. La faille de Sennely affecte ultérieurement le toit de la Molasse avec un rejet voisin de 10 m et un affaissement oriental. Seule la partie sud est affectée, le rejet s'estompe au niveau de Neuville-aux-Bois.

La bordure sud-ouest est stable vers la cote + 120 m. suggérant qu'elle ne subira plus de déformations ultérieures.

En bordure est, des distorsions importantes apparaissent avec des altitudes variant de + 120 m vers Malesherbes, + 100 m à l'est de Bellegarde et + 145 m vers Gien.

1.2.11. Calcaire de Pithiviers (cf. fig. 1.2.11 et 1.3.2 dans volume séparé)

La limite d'extension du Calcaire de Pithiviers est souvent une limite d'érosion. Les rives du lac sont nécessairement à l'extérieur, sauf en bordure orientale où la limite, bien cartographiée, s'inscrit très en retrait de celle de la Molasse. Le Gâtinais se soulève jusqu'aux failles de Beaune-la-Rolande.

En bordure occidentale, en l'absence de données cartographiques, les limites de la Molasse et du Calcaire de Pithiviers ont été construites à partir des données de forage et arbitrairement confondues. La Molasse est particulièrement difficile à détecter et très souvent les Calcaires de Beauce sont traités de façon indivise (Calcaire d'Etampes + Calcaire de Pithiviers). Les limites proposées sont toutefois proches des limites paléogéographiques possibles car elles sont contrôlées en partie par les structures tectoniques.

Vers le nord-est, un léger retrait vers le sud de la limite pourrait indiquer l'amplification de la flexure de la Remarde.

Le lac de Beauce amorce son retrait au nord par accentuation de la remontée des anticlinaux transverses de la Remarde et de Francourville, et au sud-est, en Gâtinais, par la remonté du horst de Nogent-sur-Vernisson.

Les épaisseurs (fig. 1.3.2.d) maximales sont centrées sur Neuville-aux-Bois où elles atteignent 40 m. Il faut noter que la Molasse disparaît en dessous, comme si celle-ci était remplacée par un équivalent calcaire représentant alors un centre bassin calcaire dans le lac de la Molasse. Ce volume calcaire est intégré au Calcaire de Pithiviers.

La structure du bassin change de celle qui contrôlait les dépôts précédents. Le bassin de Châteauneuf n'apparaît plus, indiquant que les failles N-S ne jouent pas à ce moment. Le bassin de Neuville-aux-Bois n'est plus contrôlé par les structures faillées mais par une subsidence générale dont le centre se déplace de 20 km vers le nord-est.

Le point haut structural (fig. 1.2.11) est toujours placé dans l'extrême nord vers + 150 m d'altitude et la zone basse se situe en Sologne vers + 85 m. L'altitude de la bordure occidentale décroît régulièrement du nord au sud, jusqu'à 122 m en Petite Beauce. La bordure orientale marque la même tendance avec une chute très prononcée en Gâtinais où l'altitude atteint la cote + 100 m. Cette distorsion de la subsidence vers l'est entraîne une rotation du pendage général vers le sud-est et non plus plein sud comme précédemment. La faille de Sennely, dans son tronçon sud, affecte le toit du Calcaire de Pithiviers avec un décalage de 15 m environ, la partie affaissée toujours située à l'est.

1.2.12. Marne de Blamont (cf. fig. 1.2.12 et 1.3.2.c dans volume séparé)

L'extension est fortement réduite par rapport au Calcaire de Pithiviers. Au nord-est, les contours sont des limites d'érosion ; elles ont été bien cartographiées. Vers l'ouest, l'épaisseur se réduit et le niveau n'affleure plus. Le contour proposé est une construction réalisée à partir des forages englobant les points renseignés.

Les épaisseurs maximum (fig. 1.3.2.c) sont notées dans la terminaison sud de la fosse de Pithiviers, impliquant encore le jeu des failles de Sennely et de Beaune-la-Rolande.

Le lac se réduit et migre vers le sud-est.

Les points hauts du toit (fig. 1.2.12) des Marnes sont toujours disposés au nord. Leur altitude varie de + 135 m à l'ouest, à + 125 m à l'est. La zone basse se situe au sud, à + 105 m en Orléanais et + 110 m en Gâtinais.

La faille de Sennely affecte encore le toit de la Molasse. L'appréciation du rejet est délicate en raison du nombre limité de points disponibles. Un affaissement du panneau oriental de 5 m est observé au nord et au sud à Châteauneuf.

1.2.13. Calcaire de l'Orléanais (fig. 1.2.13 et 1.3.2.b)

Les Calcaires de l'Orléanais sont repérés cartographiquement lorsque les Marnes de Blamont elles-mêmes le sont. Ceci n'est jamais le cas dans l'ouest de la Beauce. Les contours proposés se réduisent aux quelques limites cartographiques identifiées ou construites, confirmées par des forages montrant la présence des Marnes de Blamont au-dessous du terme calcaire. Lorsque ces conditions ne sont pas présentes, les éventuels équivalents stratigraphiques calcaires ont été intégrés au Calcaire de Pithiviers. Les épaisseurs (fig. 1.2.3.b) sont toujours très modestes, inférieures à 10 m.

Le lac s'assèche, de rares points humides subsistent.

Le toit (fig. 1.2.13) évolue entre 120 et 135 m. Dans sa disposition actuelle, il résulte principalement de l'érosion et n'apporte donc aucun renseignement structural.

1.2.14. Formations détritiques de l'Orléanais et de Sologne (cf. fig. 1.2.14 et 1.3.2.a dans volume séparé)

Les dépôts fluviatiles argilo-sableux des Marnes et Sables de l'Orléanais auxquels succèdent les Sables et Argiles de Sologne, entaillent les formations de Beauce depuis le Gâtinais jusqu'à l'Orléanais. L'incision affecte l'Eocène détritique, les calcaires éocènes, le Calcaire d'Etampes, la Molasse du Gâtinais, le Calcaire de Pithiviers et les Marnes de Blamont. Ces dépôts imperméables imposent localement, à la nappe des calcaires de Beauce, une position de nappe captive.

1.3. RELATIONS SPATIALES

Les formations qui viennent d'être décrites isolément dans l'ordre chronologique de leur mise en place sont à voir selon un empilement qui doit faire apparaître tous les éléments importants du schéma hydrogéologique d'ensemble, à savoir les extensions des formations perméables, les interrelations verticales de niveau à niveau, les contacts latéraux à la faveur des failles (on traitera § 3 des conditions aux limites du bassin).

1.3.1. Coupes transversales (cf. fig. 1.3.1. – 1.3.1.a à 1.3.1.p dans volume séparé)

Pour ce faire, deux familles de coupes parallèles ont été réalisées. Il s'agit de 9 coupes NW-SE et 7 coupes NE-SW. Ces coupes sont à l'échelle horizontale 1/300 000 (le double des cartes) et à l'échelle verticale 1/6 000. Le facteur d'amplification des échelles verticales est de 50 X.

Il convient de souligner que si l'on avait appliqué un même rapport de réduction de 1/300 000 verticalement et horizontalement, le bassin aurait été figuré avec une épaisseur inférieure à 1 mm, ce qui donne une mesure des proportions réelles du système sédimentaire et hydrogéologique de Beauce. Les coupes sont référencées sur la carte de présentation ci-après (fig. 1.3.1) et sont ensuite présentées dans l'ordre suivant :

- 9 coupes NW-SE, du N vers le S (fig. 1.3.1.a à 1.3.1.i) ;
- 7 coupes NE-SW, du N vers le S (fig. 1.3.1.j à 1.3.1.p).

Le graphisme utilise un code de couleur indépendant des couleurs de la carte géologique, mais préfigure la description lithologique qui est faite au chapitre 2, à savoir :

Couleur dominante	Nature lithologique
Bleu	Calcaires
Vert	Marnes et argiles
Gris et pourpre	Formations détritiques
Jaune et orange	Sables
Trait brun	Le toit de la craie

La légende unique à ces 16 coupes donne le détail des nuances et l'attribution d'une nuance à chaque formation.

On observera en particulier la présence des configurations structurales et topographiques suivantes :

- la structure en gouttière orientée, NE-SW (voir en particulier les coupes WE08 – WE09) ;
- la présence de la faille de Sennely, son rejet et l'abaissement du compartiment est (coupes WE04, WE05, WE06) ;

- l'escarpement au N qui marque le passage du plateau beauceron au système hydrographique de la Seine et constitue pratiquement une cuesta (coupes NS03, NS04, NS05) ;
- les reliefs formés par les formations miocènes de l'Orléanais et de Sologne (coupes NS04, NS05, NS07, WE04, WE05) ;
- le horst de la craie au SE à Marchenoir - Ouzouer-le-Marché (coupe NS01) ;
- l'onlap des formations oligocènes sur les calcaires éocènes (coupes NS).

On notera que la représentation GDM contribue à l'interpolation des données et fournit une restitution satisfaisante des horizons sédimentaires. En revanche, le choix de la maille kilométrique pour le modèle n'est pas optimal pour figurer le contraste auquel on est habitué pour les failles, qui sont parfois figurées comme des talus abrupts.

1.3.2. Cartes d'isoépaisseur (cf. fig. 1.3.2.a à 1.3.2.m dans volume séparé)

Pour avancer d'un pas dans la représentation de l'empilement sédimentaire qui aboutira à terme à un schéma hydrogéologique complet, on a procédé à une relecture des données structurales afin de calculer, maille à maille, les épaisseurs de chaque horizon.

Ceci a conduit à la famille des cartes présentées en figures 1.3.2.a à 1.3.2.m. Pour une meilleure compréhension de la structure actuelle du bassin, les horizons sont présentés dans l'ordre inverse de celui qui avait été retenu pour décrire les épisodes stratigraphiques : *les formations les plus récentes sont présentées en premier, c'est-à-dire sur le " dessus " de la pile des 13 cartes.*

Cette représentation comporte un code de couleur qui lui est propre et correspond à 6 classes d'épaisseur. Le seuil de coupure a été fixé à 20 cm (0 à 20 cm - blanc - épaisseur non significative hydrogéologiquement).

Indépendamment de l'extension de formation déjà représentée à travers les cartes structurales, on notera :

- l'incidence de la faille de Sennely et des failles de Beaune-la-Rolande sur la sédimentation jusqu'à l'Oligocène (voir carte isopache de la Molasse du Gâtinais et la carte du Calcaire de Pithiviers) ;
- la disposition des épaisissements liés aux structures : fosse de Pithiviers pour les Calcaires d'Etampes, reliefs saillants pour le détritique miocène. Ces épaisissements auront pourtant des rôles comparables sur le plan hydrologique ;
- la marque du prisme sédimentaire au NE constitué par l'ensemble de la séquence marine (des Argiles vertes aux Sables de Fontainebleau).

1.3.3. Présentation 3D (fig. 1.3.3.a à g suivantes et 1.3.3 dans volume séparé)

Pour mieux expliciter la structure tridimensionnelle du bassin, les figures 1.3.3.a à 1.3.3.g proposent des représentations de différents horizons repères, vues sous différents angles, afin de mettre en valeur la structure de la formation sous-jacente. La figure 1.3.3.a présente un bloc diagramme qui reprend l'ensemble des faciès et objets stratigraphiques visibles à l'affleurement. Elle fait, en particulier, ressortir l'allure des morphostructures observées le long des limites sud et sud-est du bassin, visibles au premier plan du bloc diagramme. Le maillage utilisé par le modèle stratigraphique (1 km) préfigure celui qui pourra être retenu pour le modèle hydrodynamique (fig. 1.3.3).

1.4. CONCLUSION : TRAITS STRUCTURAUX MAJEURS ET GEODYNAMIQUE

On peut retenir les principaux traits structuraux suivants. Le système sédimentaire de Beauce qui surmonte la craie est, en large part, constitué de formations lacustres. Il comprend trois ensembles sédimentaires successifs :

- un ensemble éocène (éocène détritique, Arkose de Breuillet, éocène calcaire) qui se dépose sur toute la zone et suit le modelé imposé par le toit de la craie. Pendant sa mise en place, l'épaisseur de cet ensemble se trouve fortement contrôlée par le jeu progressif de deux failles actives, que sont la faille de Sennely et la faille de Beaune-la-Rolande. Entre ces failles se crée la fosse de Pithiviers, sorte de gouttière ouverte sur l'Ile-de-France. A l'aplomb de cette gouttière les dépôts sont épais. A ce modelé se surimpose progressivement une flexure perpendiculaire à la gouttière qui abaisse la partie nord-est du bassin. Cette partie sera plus propice par la suite à une sédimentation complète, tandis que la partie sud-ouest, plus haute, laissera jouer l'érosion ;
- un second ensemble éocène supérieur-oligocène transgressif, originaire d'Ile-de-France (Argiles vertes, Calcaire de Brie, Marnes à huîtres, Sables de Fontainebleau), qui se présente comme un prisme bien développé au NE et se terminant en biseau selon une ligne SE-NW située au centre du bassin (le long de la flexure). Il comble la partie nord de la gouttière. Cette séquence se termine par la généralisation des dépôts lacustres sur toute la plate-forme, à l'arrière, puis au-dessus des Sables de Fontainebleau. C'est le Calcaire d'Etampes. A ce second ensemble, succède une discontinuité générale datée de l'Oligocène supérieur. De nouvelles manifestations tectoniques se font sentir ; elles font jouer les failles et déforment les dépôts en place ;
- le troisième ensemble est dû à la mise en place du bassin lacustre principal centré sur l'Orléanais et le sud de la fosse de Pithiviers. Ce bassin devient désormais le centre géométrique du bassin de Paris. L'ensemble sédimentaire comprend la molasse oligocène plus épaisse au SE, et les calcaires de Pithiviers qui constituent le principal remplissage récent. Les deux masses calcaires communiquent entre elles aux endroits où la molasse est absente.

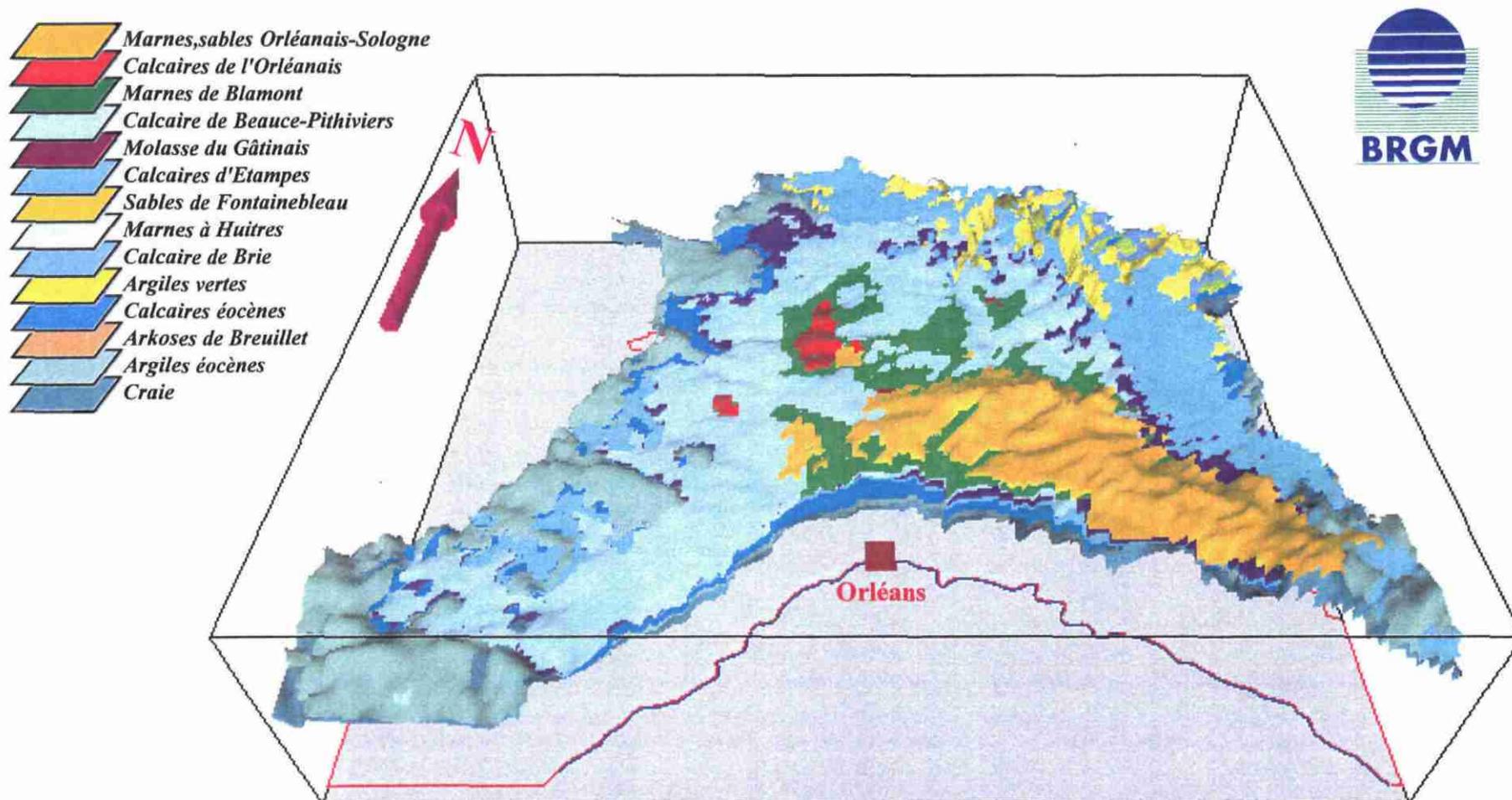


Fig. 1.3.3.a : Vue 3D du toit apparent (affleurement) de l'ensemble des formations du bassin de Beauce

Cette représentation est l'équivalent en vue cavalière de la carte géologique, étendue à l'ensemble de la zone d'étude. Elle montre les parties des formations qui apparaissent à l'affleurement et, sur le plan hydrogéologique, susceptibles de recevoir une infiltration directe de l'eau au sol, pour celles d'entre elles qui sont perméables.

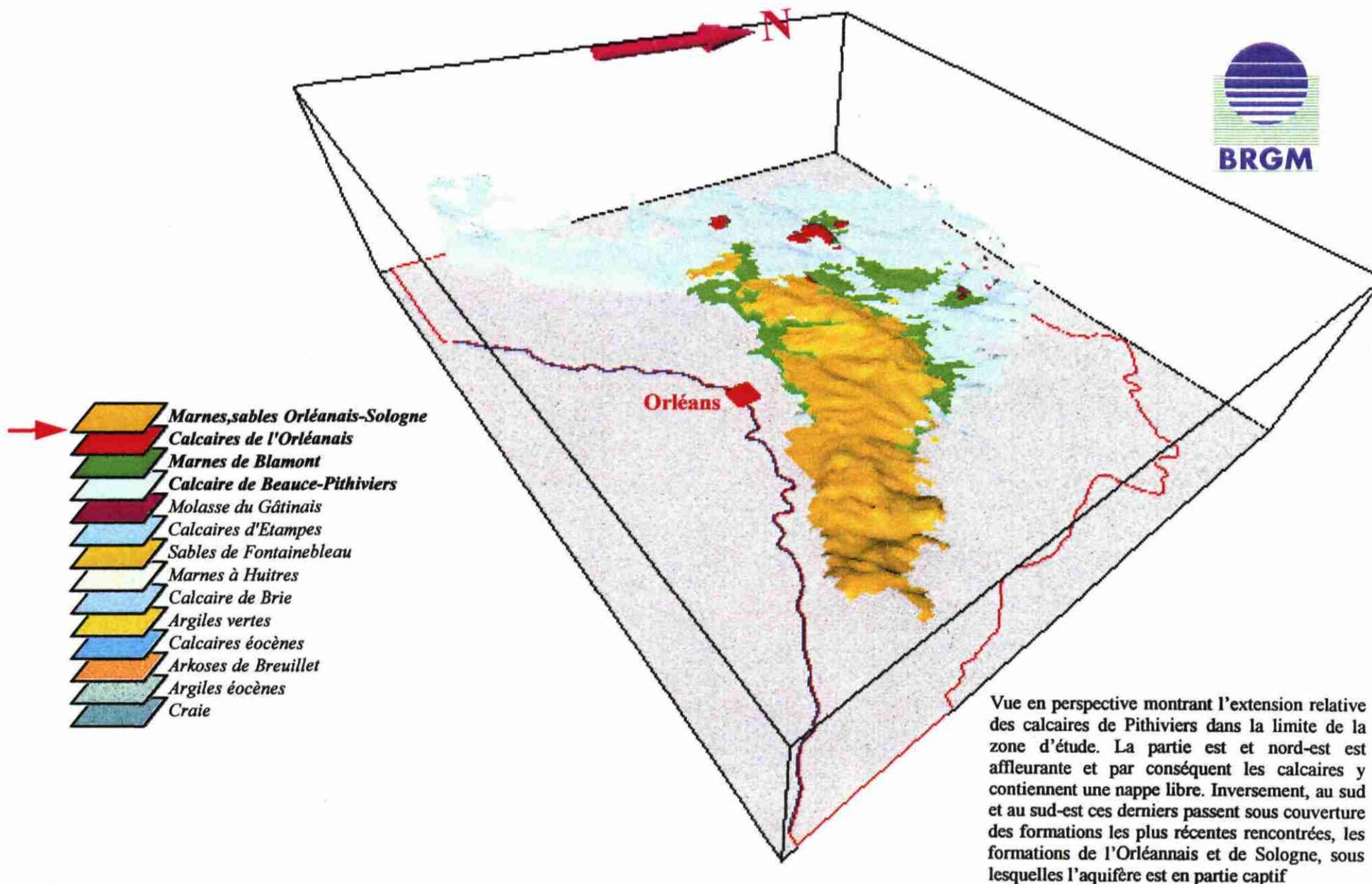


Fig. 1.3.3.b – Vue 3D du toit des Calcaires de Pithiviers et des formations de l'Orléanais et de Sologne.

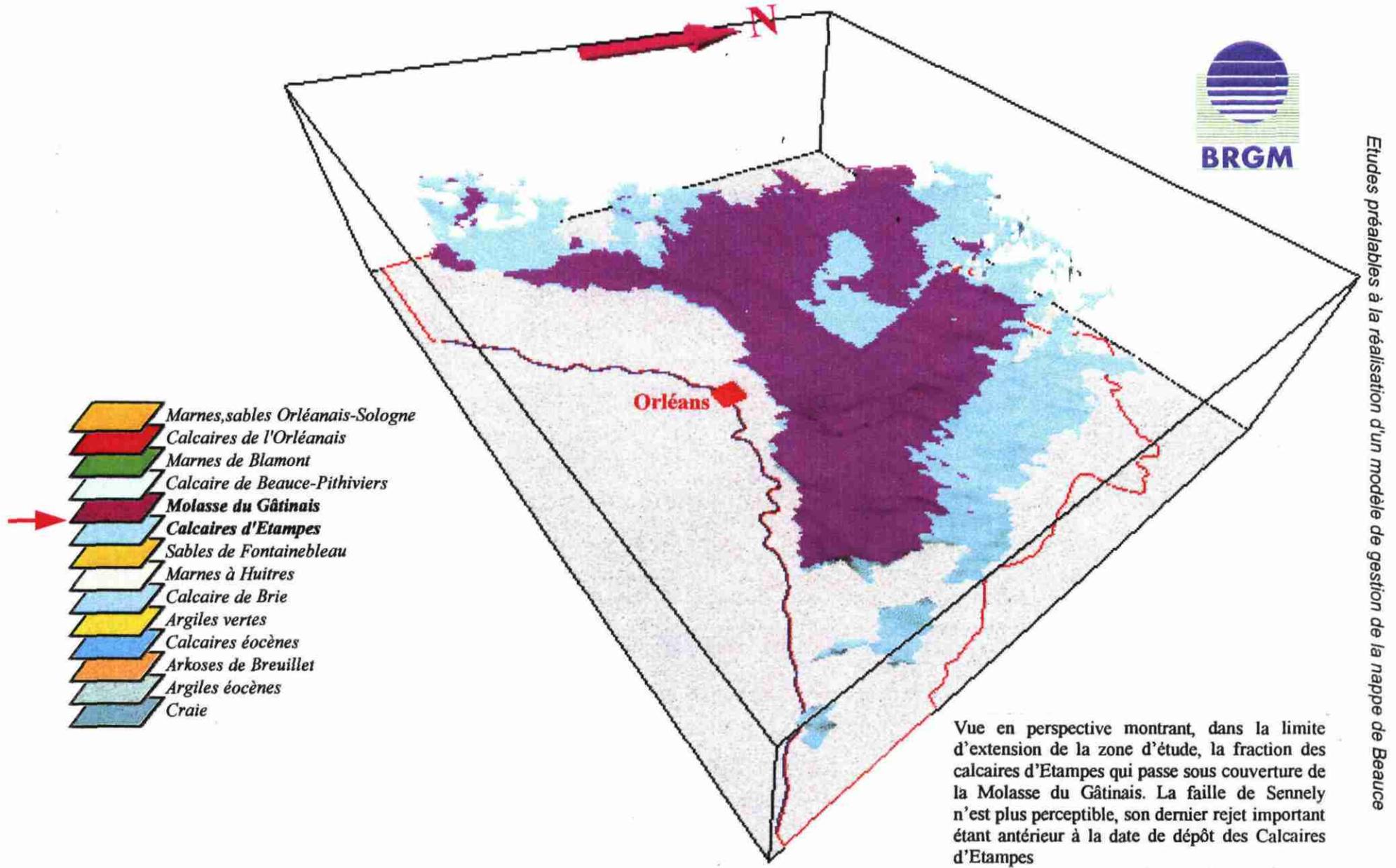


Fig. 1.3.3.c – Vue 3D du toit des Calcaires d'Etampes et de la Molasse du Gâtinais.

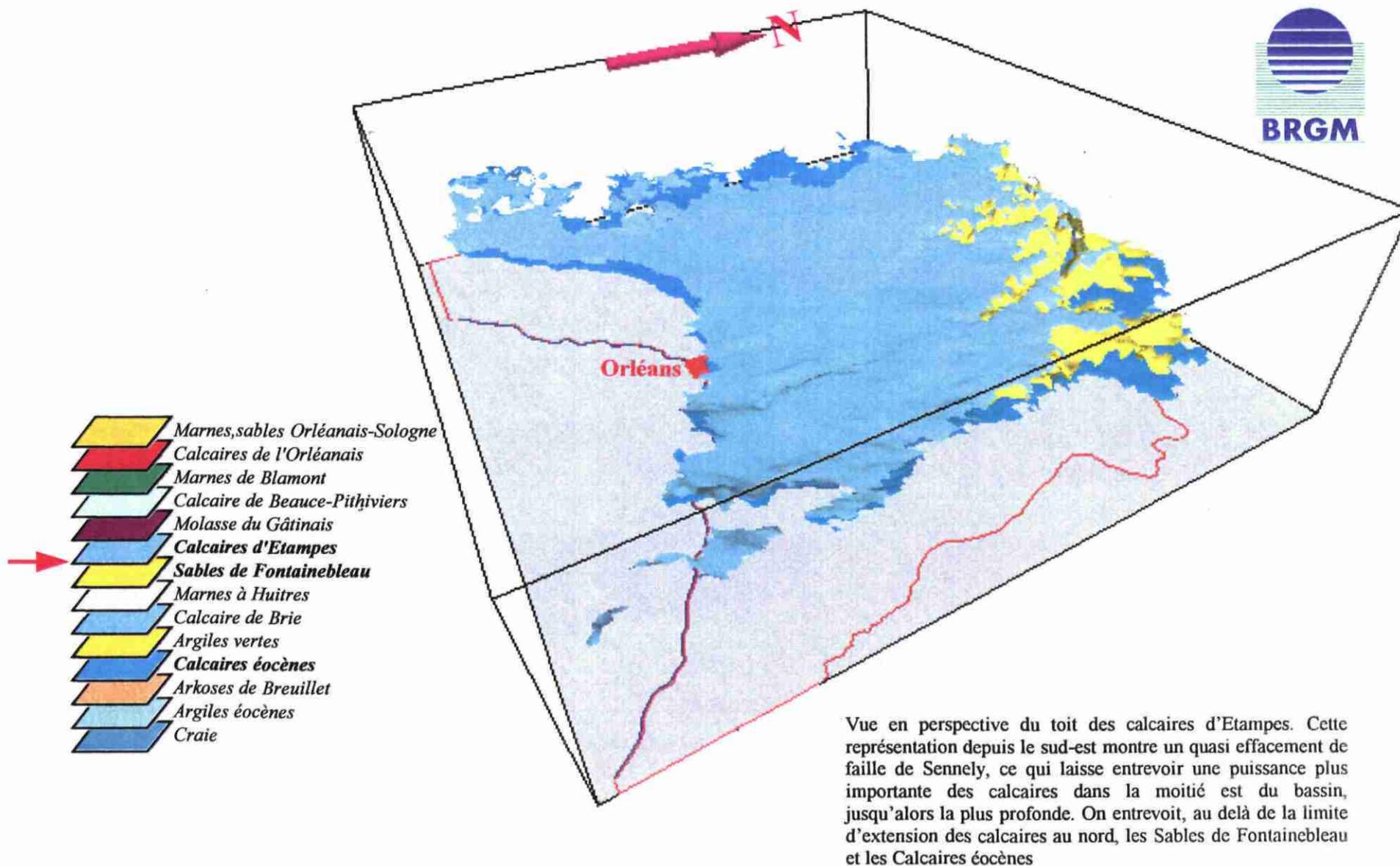


Fig. 1.3.3.d – Vue 3D du toit des Sables de Fontainebleau et des Calcaires d'Etampes.

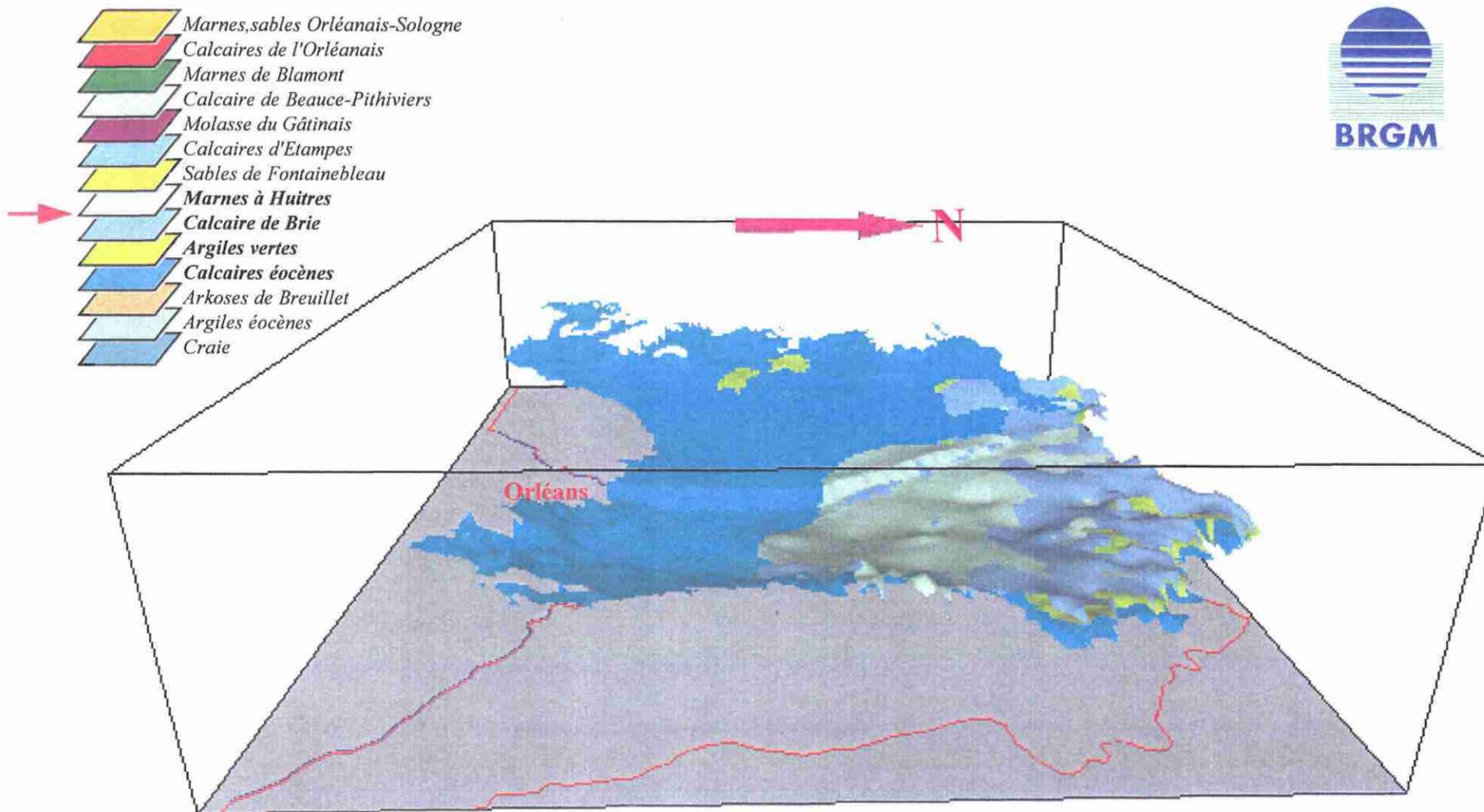


Fig. 1.3.3.e : Vue 3D du toit des Calcaires éocènes, des Argiles Vertes, du Calcaire de Brie et des Marnes à Huîtres

Vue en perspective du toit des premiers niveaux aquifères importants dans la succession stratigraphique de la Beauce. Cette vue observée depuis l'est, fait apparaître clairement le rejet de la faille de Senneley, rejet postérieur à la mise en place des formations mentionnées

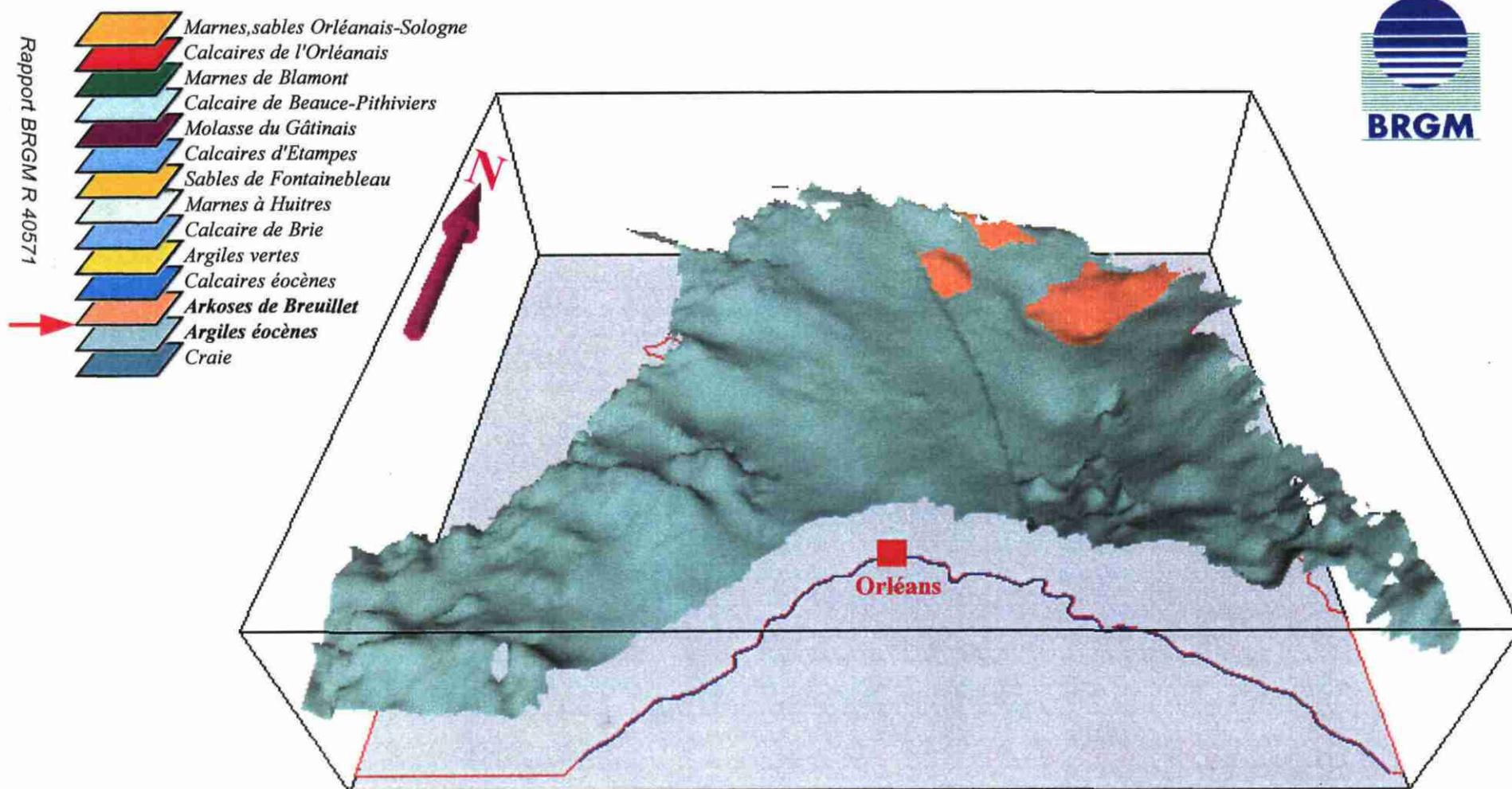


Fig. 1.3.3.f : Vue 3D du toit des Arkoses de Breuillet et des formations détritiques éocènes

Vue en perspective d'une partie des formations éocènes, montrant la morphologie actuelle des formations qui servent de soubassement aux calcaires éocènes. On distingue la structure en fosse disymétrique dont la partie la plus profonde se situe à l'est de la faille de Sennely.

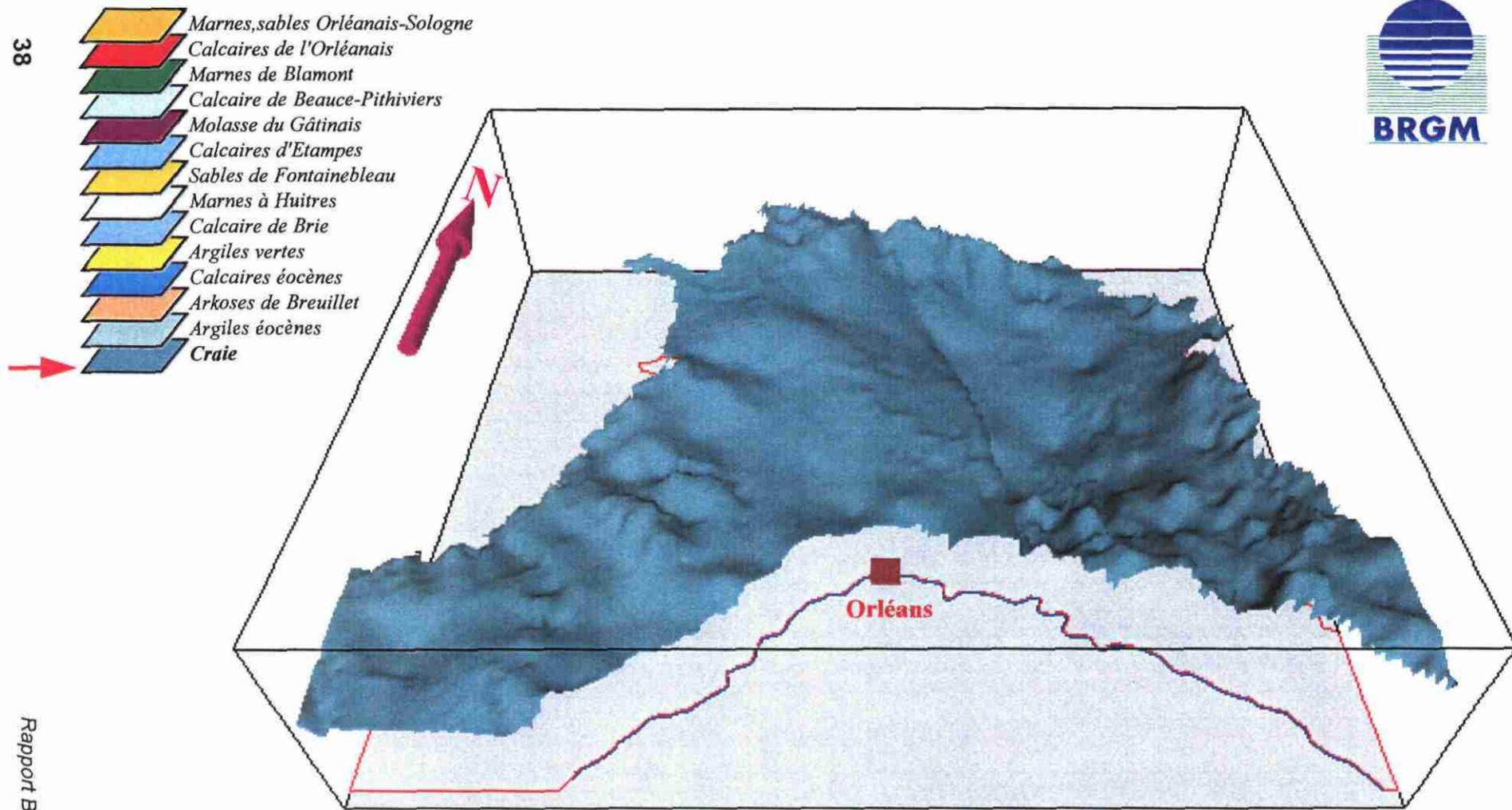


Fig. 1.3.3.g : Vue 3D du toit de la Craie

Vue en perspective du toit de la craie dans les limites d'extension de la zone d'étude. Cette représentation permet d'apprécier la morphologie du soubassement du bassin de la Beauce : elle met en évidence la forme en dépression du bassin et la présence de la faille, de Sennely dont le dernier rejet, postérieur à la transgression éocène, affecte la craie

Les Calcaires de Pithiviers affleurent aujourd'hui abondamment et confèrent au plateau, en grande partie, sa morphologie actuelle.

Par places, sur ces calcaires, viennent les derniers dépôts miocènes constitués par les Marnes de Blamont et les sables, argiles et calcaires de l'Orléanais et de Sologne qui apparaissent en placages et forment des buttes sur le Plateau.

Enfin, ajoutons que la faille de Sennely, un des grands accidents du bassin de Paris et le faisceau de failles de Beaune-la-Rolande contrôlent le développement du bassin de Beauce. Elles se manifestent par l'affaissement de la fosse de Pithiviers d'une centaine de m supplémentaires par rapport à l'affaissement général.

Cette révision générale a permis plusieurs avancées fondamentales dans la connaissance des formations de Beauce :

- la distinction des corps sableux de l'Arkose de Breuillet, la mesure de son extension et son rôle probable de drain ;
- la révision de l'extension du Calcaire d'Etampes, qui fut souvent confondu avec d'autres formations calcaires, ce qui a entraîné une redistribution des attributions stratigraphiques des formations adjacentes ;
- l'observation de la grande extension des formations apparentées à la molasse et le contourage des "trous" importants (lacunes de sédimentation de la molasse) présents au centre du bassin ;
- une somme d'informations importantes sur les failles notamment la faille de Sennely et les failles en horst de Beaune-la-Rolande : l'évidence d'un rejeu post-Miocène ;
- les changements d'orientation générale des pendages : du nord-est vers le sud-ouest pour les terrains éocènes, du nord vers le sud pour les terrains oligocènes et du nord vers le sud pour les dépôts lacustres oligo-miocènes.

2. Caractéristiques lithologiques et hydrodynamiques

Ce chapitre reprend tous les horizons un à un et décrit les caractéristiques lithologiques et hydrodynamiques.

Les données sont d'inégale densité, d'inégale précision et loin de la configuration idéale qui suppose un forage adapté, une bonne récupération des échantillons et des diagraphies comportant gamma ray + résistivité + sonic.

Les caractéristiques lithologiques ont été établies à partir des données de la BSS. Les forages possédant des diagraphies sont en nombre limité ; 50 ont été retenus recoupant tout ou partie de la série. Le plus souvent, ils ne possèdent qu'une diagraphie : un gamma ray ou une résistivité, rarement les deux ensemble.

Les descriptions lithologiques non étayées par des diagraphies n'ont pas été prises en compte car établies dans des conditions non contrôlables.

Les estimations faciologiques pour chaque formation font apparaître des secteurs généralement bien différenciés.

On a complété la description lithologique en indiquant les valeurs de transmissivité des niveaux aquifères, valeurs issues également de la Banque du Sous-Sol.

A partir de ces informations, l'agence ANTEA Centre a constitué une base de données des points d'eau. Cette base contient les débits spécifiques de 1 500 forages environ. Pour chacun de ces forages, on connaît les coordonnées, la profondeur totale et les altitudes du haut et du bas de la crépine. En comparant ces données avec le modèle géologique, il a été possible d'affecter à chacun de ces 1 500 forages le ou les niveaux aquifères captés : 295 d'entre eux captent une seule formation géologique. On connaît donc en ces points une valeur de transmissivité de la formation. Le tableau ci-dessous donne, pour chacun des horizons aquifères, le nombre de points sur lesquels on dispose d'au moins un débit spécifique.

Formations géologiques	Nombre de points
Craie	36
Calcaire éocène	80
Calcaire de Brie	17
Sables de Fontainebleau	11
Calcaires d'Etampes	92
Calcaire de Pithiviers	59

Tabl. 3 - Nombre de points ayant une mesure de Q/s pour une formation unique.

On a représenté sur la figure 2 la localisation des 1 416 forages pour lesquels on possède la valeur du débit spécifique. Cette carte montre que la zone la plus productive se situe au centre du bassin au nord d'Orléans avec des débits spécifiques supérieurs à 200 m³/h/m. On constate que le secteur situé dans le Gâtinais présente une productivité beaucoup plus faible où la plupart des débits spécifiques sont inférieurs à 10 m³/h/m.

L'analyse des caractéristiques hydrodynamiques a conduit à recourir aux débits spécifiques, à défaut d'un nombre suffisant de transmissivités calculées. Le débit spécifique d'un forage est le débit théorique qui provoque un mètre de rabattement de la nappe. On peut lier le débit spécifique et la transmissivité par l'expression suivante :

$$\frac{Q}{s} = \frac{2,73 T}{\log_{10} \frac{R}{r}} \quad \text{ou} \quad T = \frac{Q/s}{2,73} \log_{10} \frac{R}{r}$$

avec Q : débit exprimé en m³/s,
s : rabattement en m,
T : transmissivité de l'aquifère,
R : rayon d'action du forage,
r : rayon du forage.

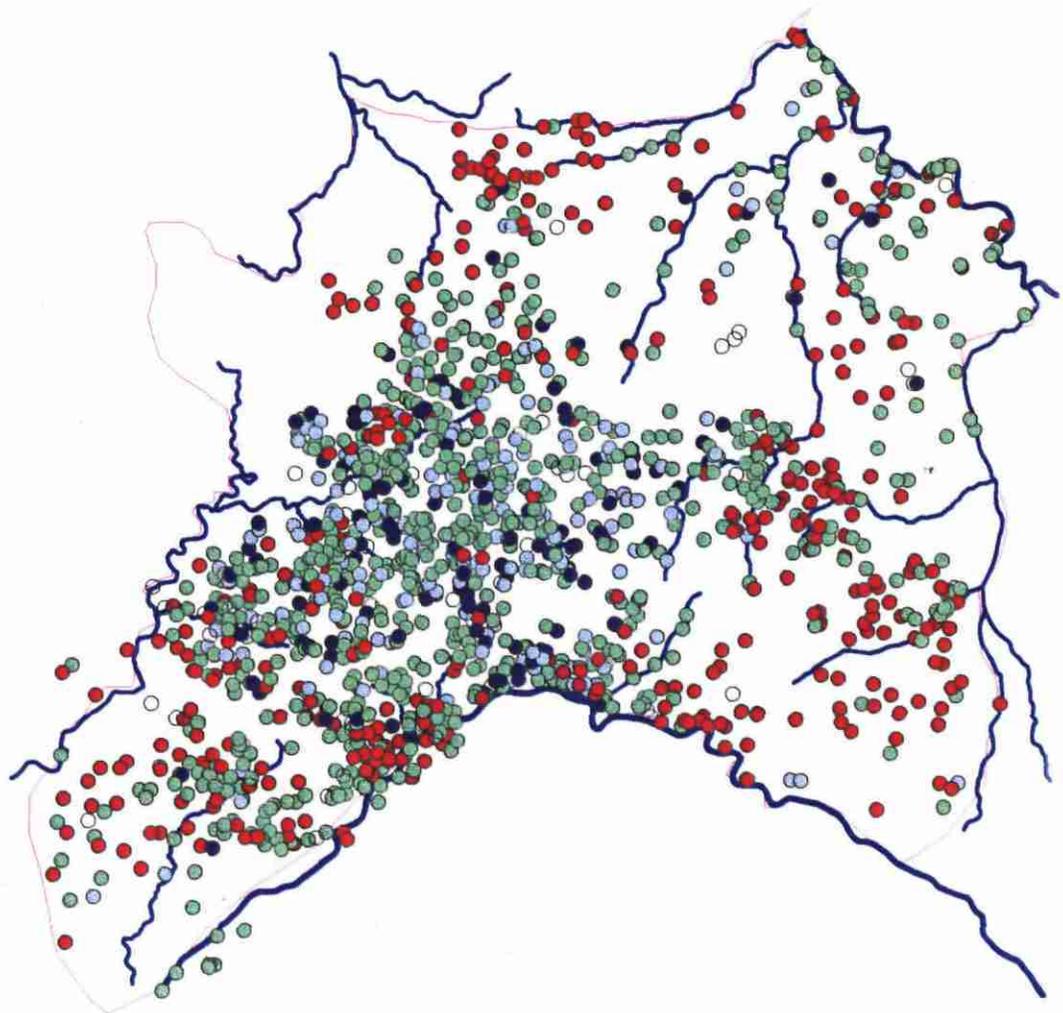
Dans notre application, on a supposé que le rayon R est égal à 300 m, et que le rayon r du forage a 100 mm.

Cette expression s'applique aux nappes captives et reste acceptable pour les nappes libres si les rabattements sont faibles par rapport à l'épaisseur de la nappe. On suppose le pompage fait à débit constant, et le régime d'équilibre atteint. On admet qu'il existe un rayon d'action R au-delà duquel l'influence du pompage n'est plus mesurable.

Cette approximation suppose que l'ouvrage capte toute la hauteur de l'aquifère. Ce cas idéal est rarement rencontré : pour des raisons économiques, les ouvrages sont arrêtés à la profondeur qui permet d'obtenir le débit requis. Le débit spécifique dépend de la qualité de l'ouvrage. Certains forages ont une productivité médiocre du fait d'une mauvaise foration ou d'un équipement mal adapté. L'analyse de la transmissivité d'un aquifère à l'aide des débits spécifiques est entachée d'une incertitude et, pour ces différentes raisons, on ne descendra pas à une précision supérieure à la puissance de dix.

Pour la suite, on retiendra les classes suivantes :

T = 1.10⁻¹ m²/s : valeurs comprises entre 0,05 et 0,5 m²/s,
T = 1.10⁻² m²/s : valeurs comprises entre 0,005 et 0,05 m²/s,
T = 1.10⁻³ m²/s : valeurs comprises entre 0,0005 et 0,005 m²/s,
T = 1.10⁻⁴ m²/s : valeurs comprises entre 0,00005 et 0,0005 m²/s.



Débit spécifique (en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)

- plus de $200 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (125 points de mesure)
- de 80 à $200 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (198 points de mesure)
- de 10 à $80 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (679 points de mesure)
- moins de $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (414 points de mesure)

Fig. 2 – Distribution sur le bassin des valeurs calculées des débits spécifiques, toutes formations confondues.

Les transmissivités ont été transcrites sur cartes à raison d'une par niveau aquifère, en estimant la moyenne des valeurs obtenues et l'homogénéité des échantillons.

La distribution des transmissivités a été comparée aux cartes lithologiques pour estimer l'homogénéité des faciès sur le plan hydrologique.

2.1. CRAIE

Les caractéristiques lithologiques ne sont pas traitées dans le cadre de cette étude.

Distribution des transmissivités (fig. 2.1)

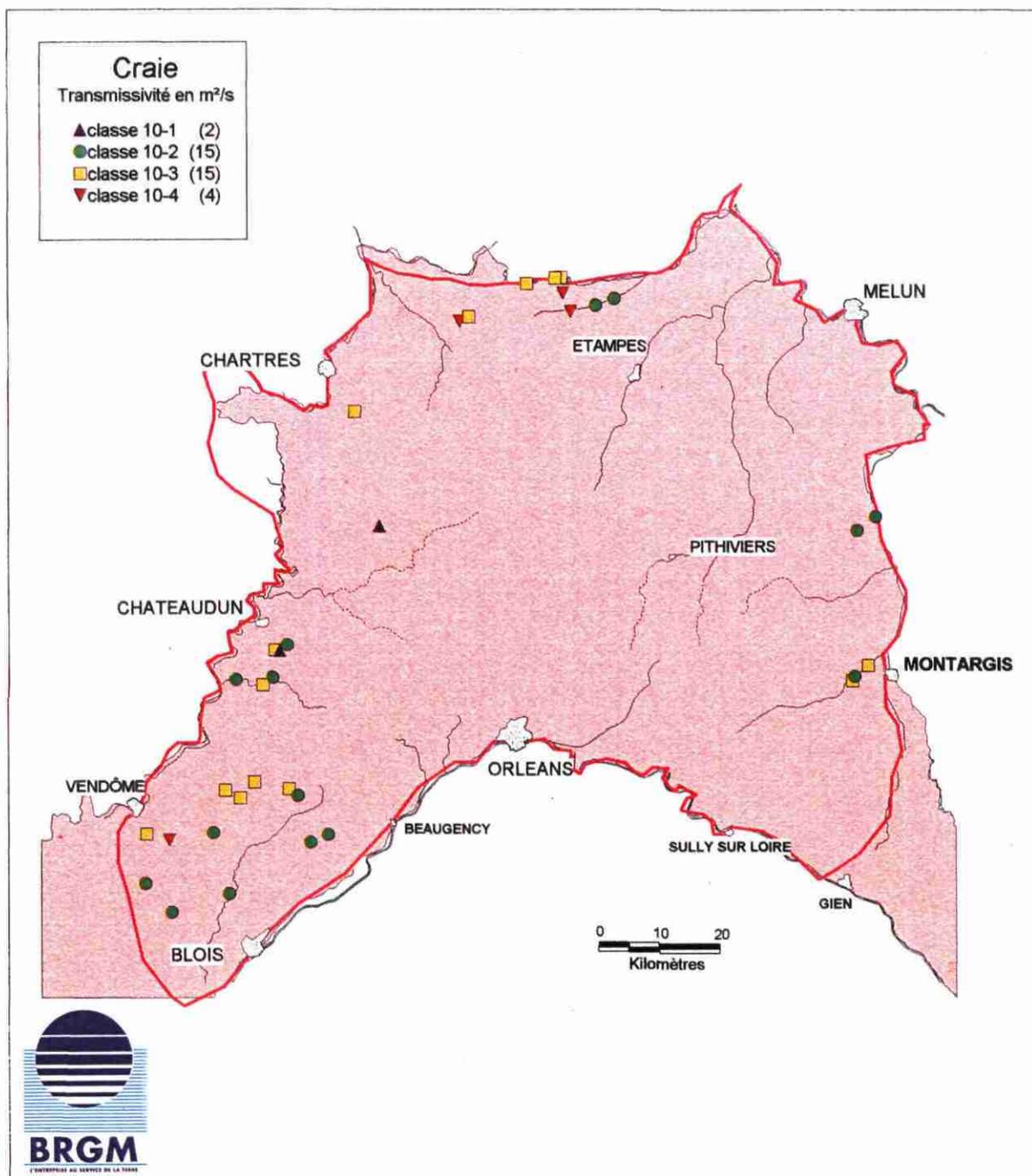
Les forages pour lesquels on possède des informations relatives à la craie sont situés à la périphérie de la Beauce pour deux raisons : la craie est profonde au centre du bassin et peu perméable lorsqu'elle se trouve sous les recouvrements calcaires. Les valeurs sont comprises entre 10^{-4} et 10^{-1} m²/s, avec une dominante entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s. Hormis le nord du bassin où la transmissivité est plutôt faible, il n'existe pas de tendance régionale dans la distribution des transmissivités.

2.2. EOCENE DETRITIQUE

Lithologie (fig. 2.2)

La répartition des faciès est particulièrement complexe. La zonation proposée permet de maintenir la notion d'appartenance stratigraphique tout en individualisant les horizons par leurs propriétés pétrophysiques. On trouve à la base, un ensemble d'horizons globalement imperméables qui se développent sur tout le bassin. On distingue trois faciès principaux :

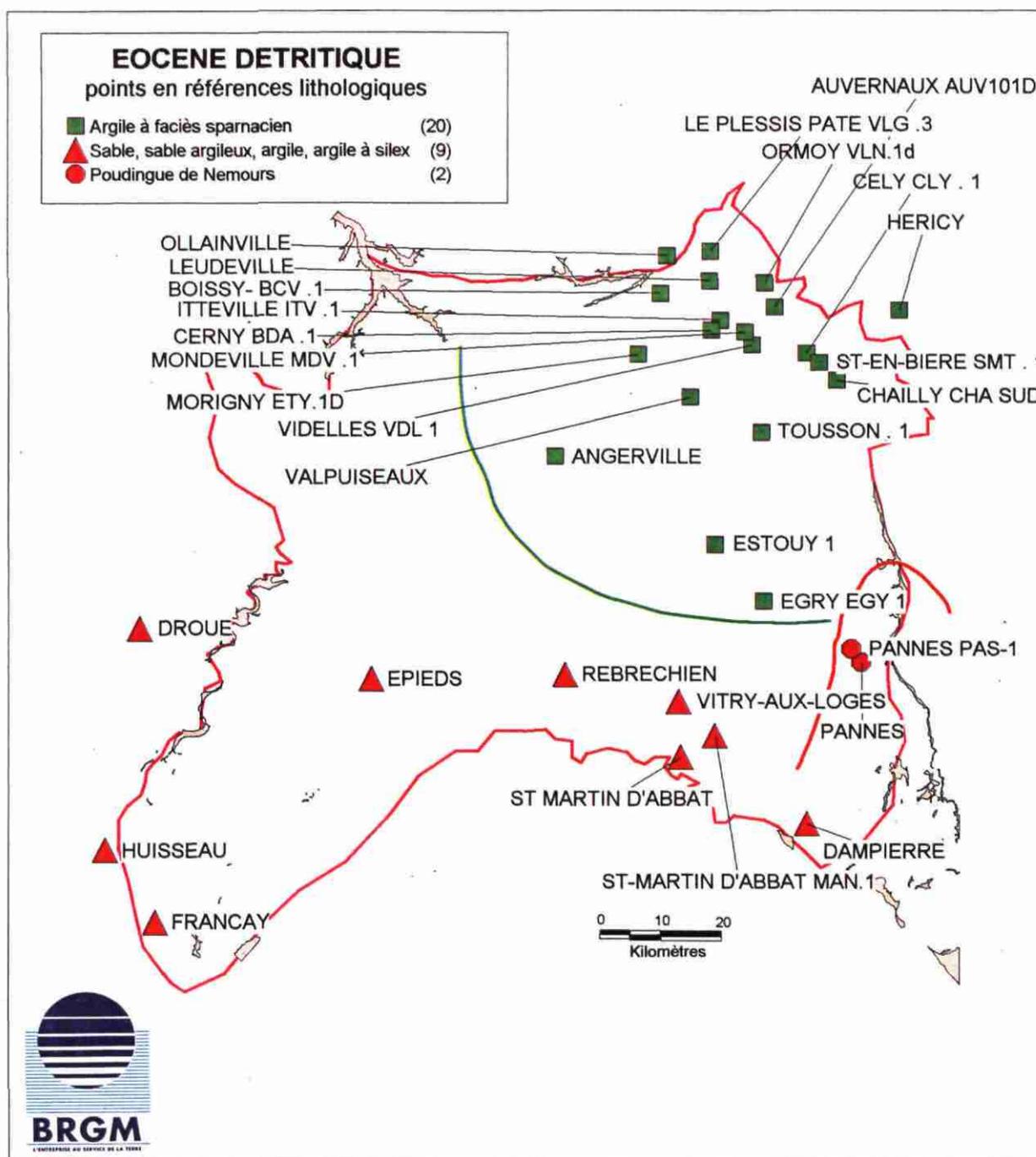
- **sables, sables argileux, argile à silex** : ce faciès d'altérites et de dépôts fluviaux couvre l'essentiel du bassin. Les épaisseurs varient de quelques mètres (voire localement absent) à une trentaine de mètres. Le faciès dominant est argileux mais des horizons sableux, très discontinus, peuvent apparaître ;
- **poudingue de Nemours** : localisé à la zone sud-est, ce dépôt fluvial grossier montre une matrice argileuse parfois remplacée par des sables ;
- **argile à faciès sparnacien** : elle remplit un golfe qui s'étend sur le secteur nord-est du bassin, en équivalence stratigraphique avec les niveaux précédents. Le faciès dominant est une argile kaolinique. En bordure sud (Angerville, Egry), les épaisseurs sont importantes (de 4 à 10 m). Vers l'Île-de-France, sous l'Arkose de Breuillet, les épaisseurs sont très irrégulières (0 à 13 m). Des amas d'argile à silex sont présents sporadiquement à la base.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.1 – Distribution des transmissivités dans la craie.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.2 – Formations détritiques éocènes : distribution des faciès lithologiques.

2.3. ARKOSE DE BREUILLET

Lithologie (fig. 2.3)

Au nord-est, un golfe ouvert sur l'Ile-de-France reçoit une série détritique, l'Arkose de Breuillet. La formation à dépôts sableux et sablo-argileux se distingue en deux sous-zones principales :

- une sous-zone ouest, en plateau entourant le môle de la Remarde : dépôts peu épais (5 à 16 m), à faciès argilo-sableux, peu perméables ;
- une sous-zone est, formant un sillon étroit : dépôts épais (20 à 45 m) à dominante sableuse probablement plus perméable.

2.4. CALCAIRE EOCENE

a) Lithologie (fig. 2.4)

Une zonalité nette se dégage. Au nord-est, ouverte sur l'Ile-de-France, une zone A montre une succession verticale avec, au sommet, des calcaires équivalents au calcaire de Champigny et à la base des marnes équivalentes des marnes et argiles infragypseuses. Les calcaires sont des calcaires francs occasionnellement fracturés ou poreux. Les marnes sous-jacentes sont fortement argileuses avec de rares niveaux calcaires. Les épaisseurs varient de 30 à 70 m.

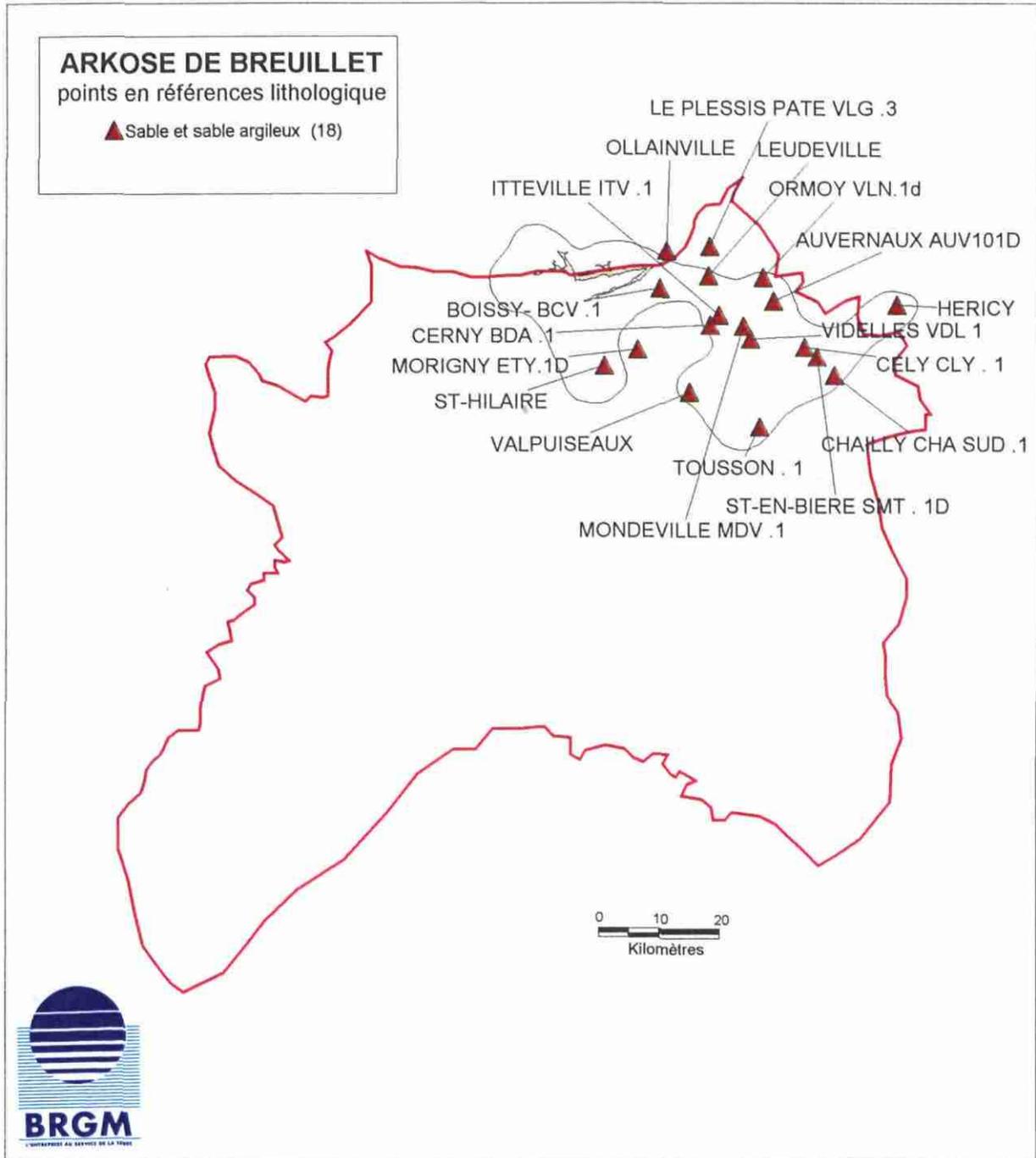
La zone B, sur un étroit sillon, comporte des marnes et calcaires incorporant des apports détritiques quartzeux. L'épaisseur varie de 20 à 40 m.

En position centrale, la zone C, sur la fosse de Pithiviers, comporte des alternances de calcaires durs ou crayeux et de marnes, distribuées de façon aléatoire. L'épaisseur varie de 30 à 60 m.

Aux bordures ouest, sud et est de la zone C, les calcaires sont largement dominants. Quelques passées marneuses subsistent. Les épaisseurs régressent : de 5 à 30 m. Des particularismes locaux apparaissent à Vitry-aux-Loges avec des calcaires gréseux et à Villiers-Faux avec des marnes à concrétions calcaires.

b) Distribution des transmissivités (fig. 2.5)

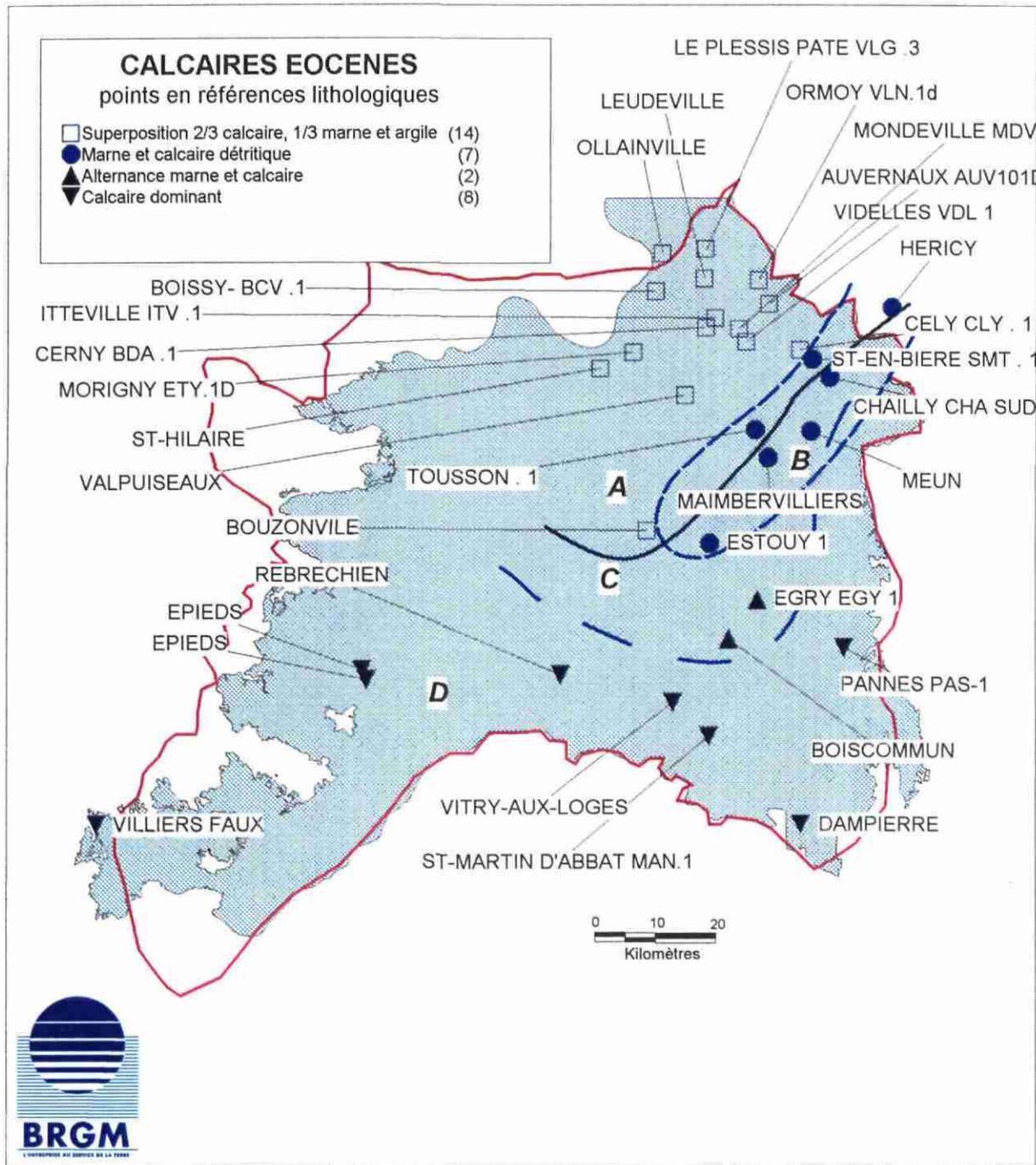
Les forages qui captent les calcaires éocènes sont situés en bordure est et ouest du bassin, là où l'Eocène est le moins profond. Comme pour les niveaux de la craie, les valeurs le plus souvent rencontrées sont comprises entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s. Par contre, on trouve quelques valeurs plus élevées (10^{-1} m²/s) ou plus faibles (10^{-4} m²/s) sur l'ensemble de la formation. La valeur moyenne des transmissivités du secteur ouest est plus élevée que celle du secteur est. On peut affecter à ces deux zones les tendances suivantes : à l'ouest $T \cong 10^{-2}$ m²/s, à l'est $T \cong 10^{-3}$ m²/s.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



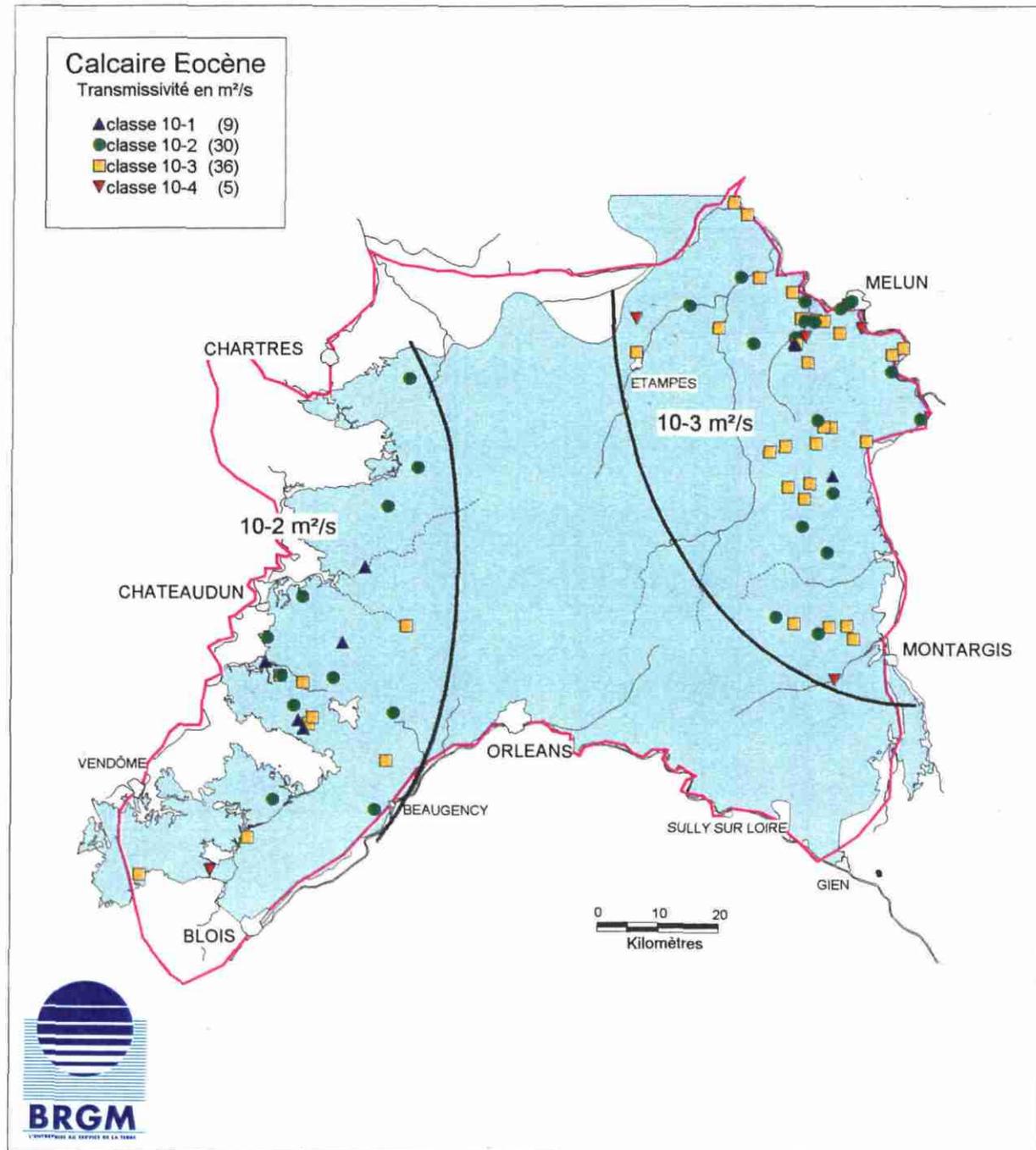
Fig 2.3 – Arkose de Breuillet : distribution des faciès lithologiques.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig 2.4 – Calcaire éocène : distribution des faciès lithologiques.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.5 – Calcaire éocène : distribution des transmissivités.

2.5. ARGILE VERTE ET MARNES SUPRAGYPSEUSES

Lithologie (fig. 2.6)

Les marnes supragypseuses ne sont présentes que dans l'extrême nord de l'étude (zone A). Elles sont plus ou moins argileuses et ne semblent pas contenir d'évaporites. Les épaisseurs varient de 5 à 15 m.

Les Argiles vertes leur succèdent en débordant plus vers le sud et le sud-est (zone B). Elles apparaissent sporadiquement sous forme de petites plages isolées au sud-ouest. Elles se caractérisent par une très forte argilosité, observée à la faveur des diagraphies gamma ray. Ce niveau imperméable n'intéresse que la zone nord-est de l'étude.

2.6. CALCAIRE DE BRIE

a) Lithologie (fig. 2.7)

Une zone centrale, axée vers la fosse de Pithiviers et ouverte sur l'Ile-de-France, développe des calcaires francs localement siliceux très indurés. Imperméables par eux-mêmes, ils sont susceptibles de présenter une forte fracturation. Sur les bordures ouest et sud, les calcaires s'enrichissent en passées marneuses. On observe des épaisseurs maximales de 10 à 25 m sur la zone axiale calcaire ainsi qu'au Sud. A l'ouest, l'épaisseur dépasse rarement 10 m.

b) Distribution des transmissivités (fig. 2.8)

Les transmissivités relevées dans les Calcaires de Brie sont en concordance avec la lithologie. Sur la zone A des calcaires francs, la transmissivité est stable avec des valeurs de l'ordre de 10^{-2} m²/s. A l'extérieur de cette zone, les transmissivités sont variables : de 10^{-4} m²/s à 10^{-1} m/s.

2.7. MARNES A HUITRES ET MOLASSE D'ETRECHY

Lithologie (fig. 2.9)

Au sommet, la Molasse d'Etrechy, présente uniquement au nord, est composée sur 1 à 7 m des sables argilo-marneux. A la base, on rencontre un faciès marneux, les Marnes à huîtres, présent constamment.

L'épaisseur totale des deux niveaux varie de 1 à 13 m sur la bordure sud. Ailleurs, elle est plus régulière et voisine 2 à 3 m. Ces deux niveaux sont imperméables. La barrière qu'ils constituent entre les Sables de Fontainebleau et les calcaires éocènes, en particulier le Calcaire de Brie, est discontinue.

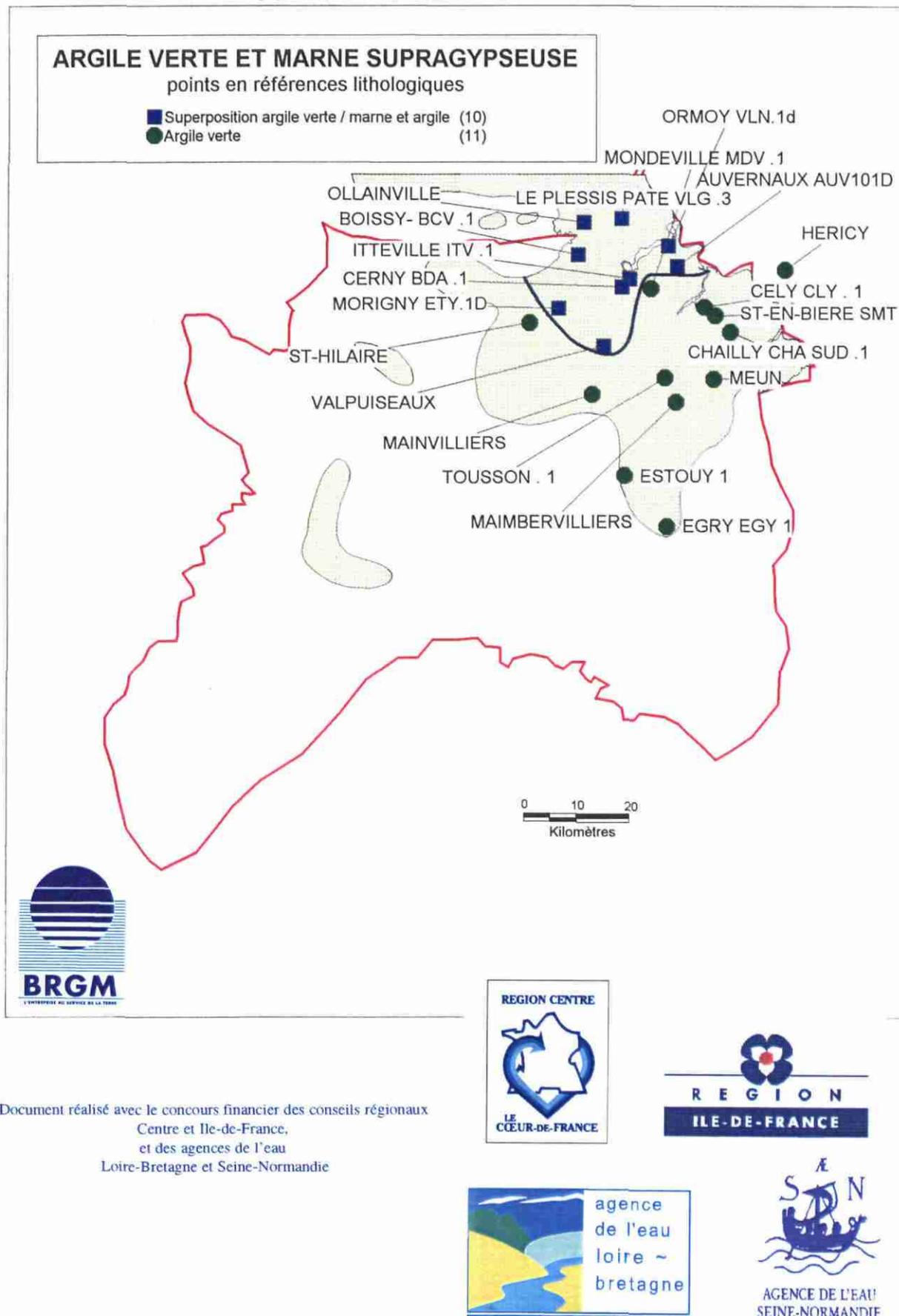


Fig. 2.6 – Argile verte et marnes supragypseuses : distribution des faciès lithologiques.

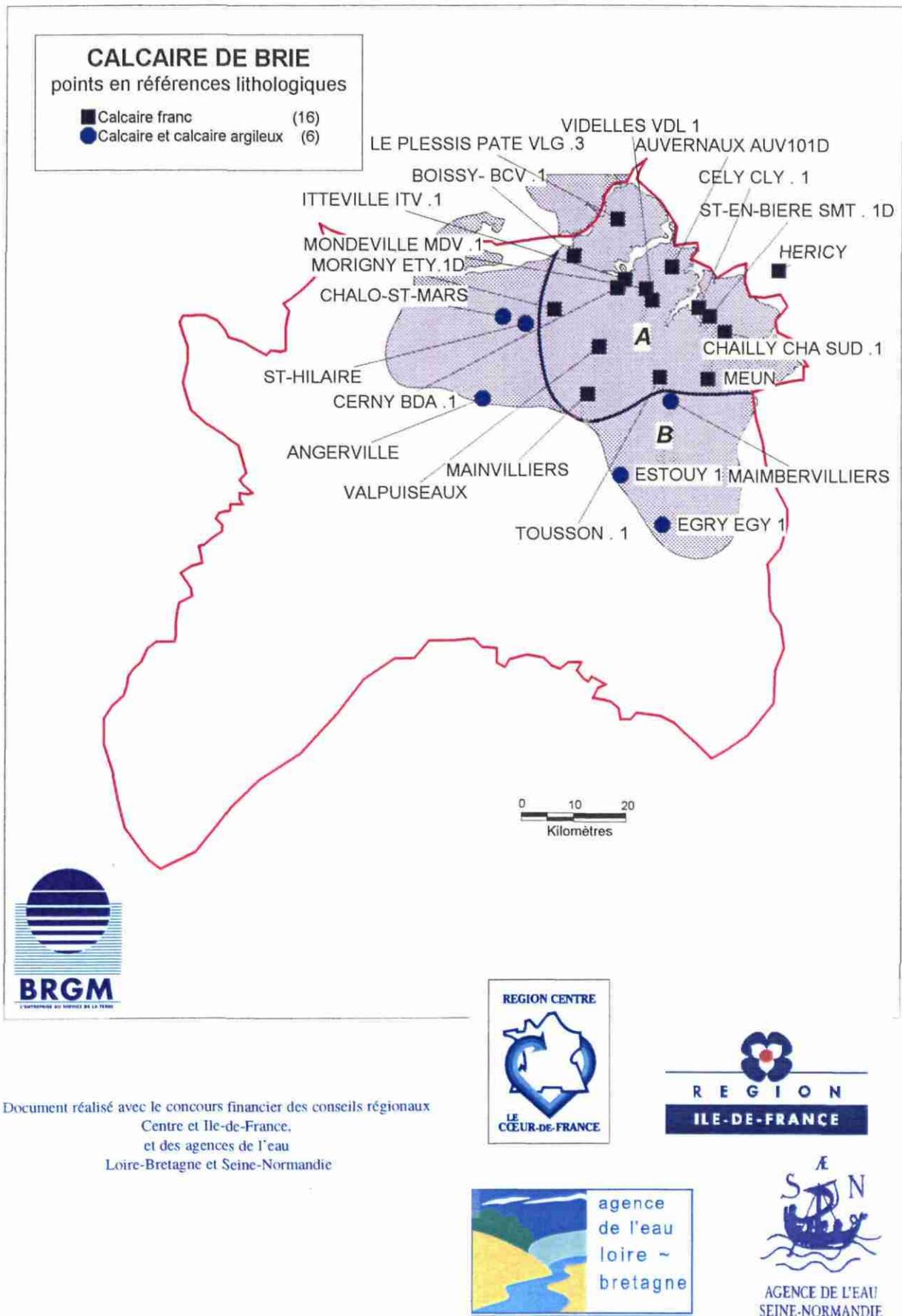
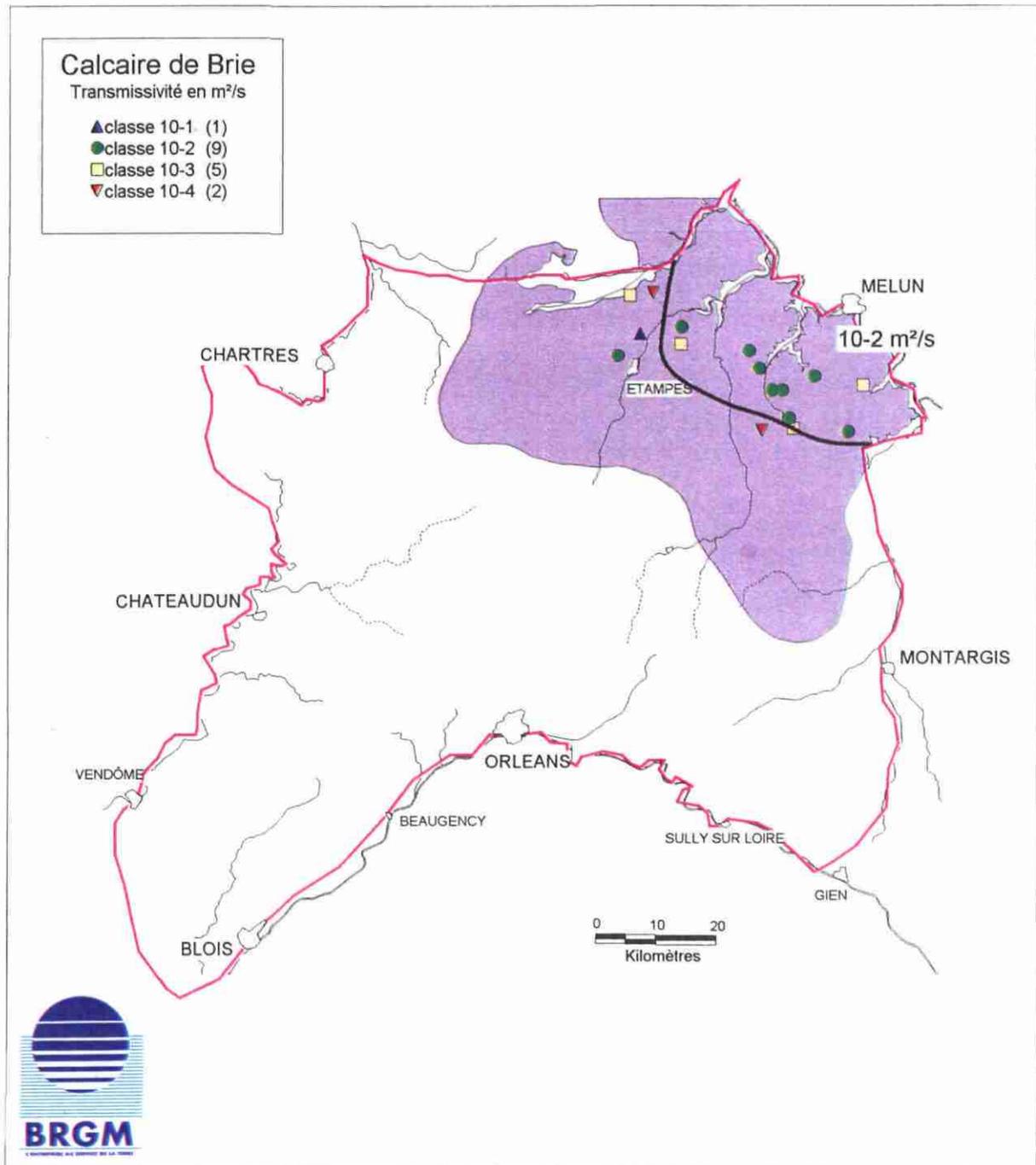


Fig. 2.7 – Calcaire de Brie : distribution des faciès lithologiques.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.8 – Calcaire de Brie : distribution des transmissivités.

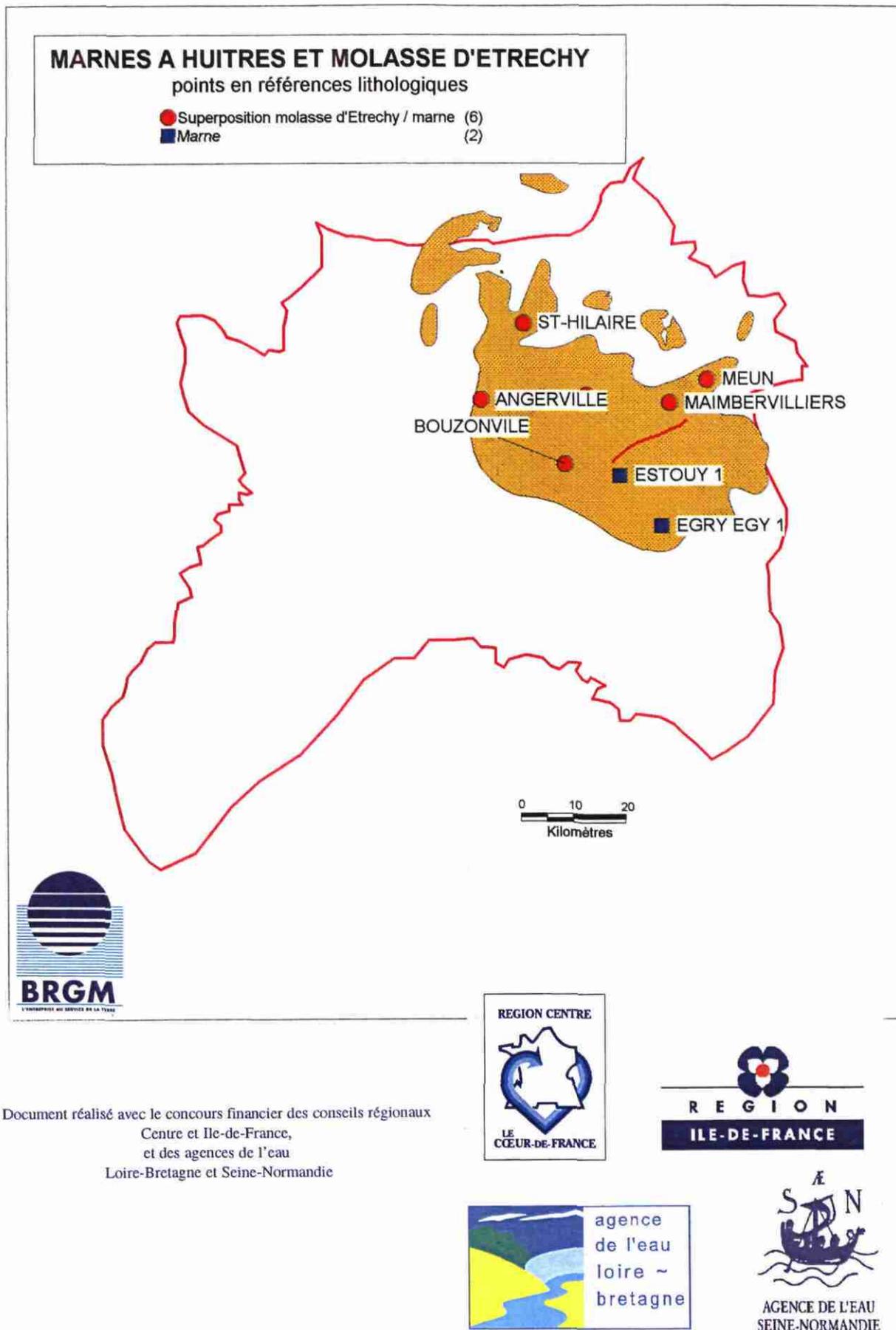


Fig. 2.9 – Marnes à huîtres et Molasse d'Etréchy : distribution des faciès lithologiques.

2.8. SABLES DE FONTAINEBLEAU

a) Lithologie (fig. 2.10)

La logique de répartition est différente de celle observée dans les calcaires. Les alignements nord-ouest sud-est, correspondant au système dunaire qui accompagne la mise en place des Sables de Fontainebleau, se retrouvent dans la distribution de zones argileuses.

On observe trois types de successions verticales :

- type 1 : sable avec partie médiane argileuse ;
- type 2 : sable avec partie inférieure argileuse ;
- type 3 : sable homogène propre, principalement observé au Nord et au Sud.

Les successions avec argile (types 1 et 2) occupent la zone centrale. La densité des forages utilisés ne permet pas de voir clairement les relations mutuelles. Il est probable que les zones argileuses correspondent à des sillons interdunaires non interconnectés. La distribution de ces zones argileuses, perpendiculairement à l'écoulement de la nappe, peut constituer des semi-barrières locales.

b) Distribution des transmissivités (fig. 2.11)

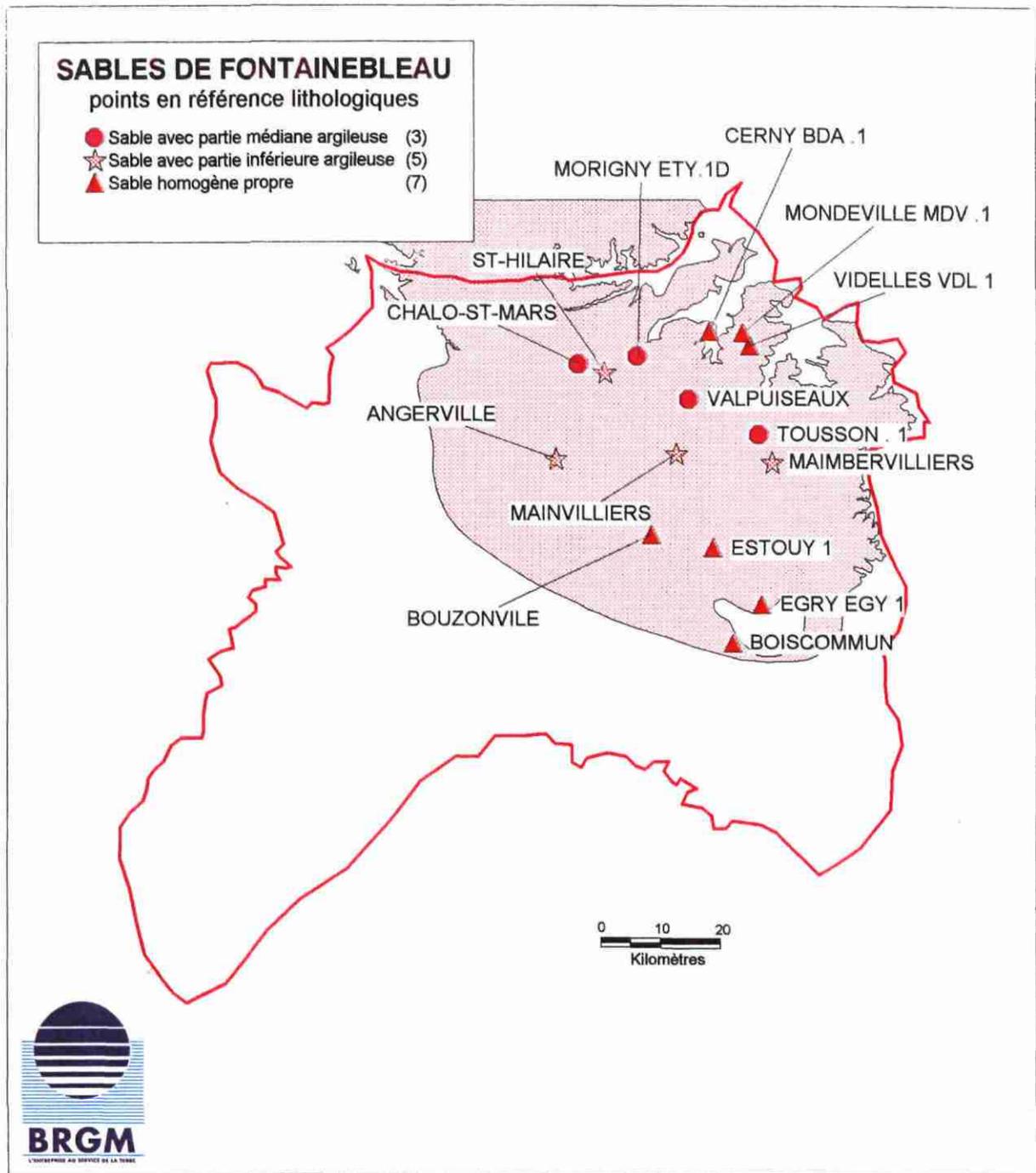
On ne possède que 11 forages dans la formation des Sables de Fontainebleau. La valeur la plus souvent rencontrée est de l'ordre de 10^{-3} m²/s.

2.9. CALCAIRE D'ETAMPES

a) Lithologie (fig. 2.12)

La base de la formation du calcaire d'Etampes montre très souvent un niveau argilo-marneux épais de 1 à 2 m, présent sur l'ensemble du territoire sauf à l'ouest. A l'est, il fait place à un niveau marno-calcaire plus épais (7 m au maximum). Le peu de forages disponible et la qualité inégale des diagraphies ne permet pas de conclure à la continuité totale de cet horizon. Ce niveau imperméable peu épais peut être considéré comme une semi-barrière. Au-dessus, se développe une formation constituée de différents faciès calcaires : calcaires durs, calcaires crayeux, calcaires argileux, calcaires meuliérisés et marne. Malgré ce caractère hétérogène, une logique de zone se dégage mais avec une configuration qui doit être précisée.

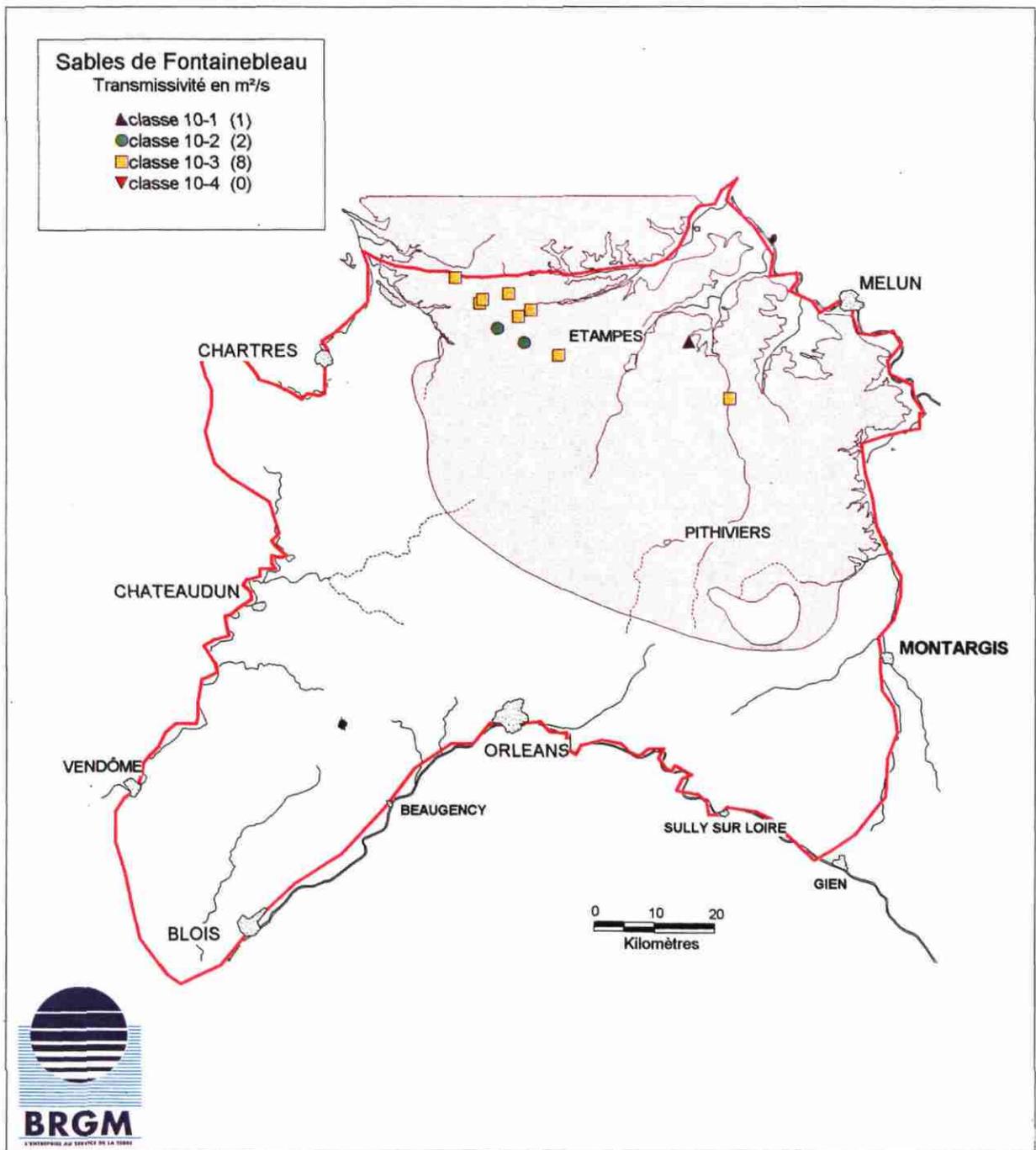
Au nord-est, en zone A, on observe la superposition verticale de deux termes principaux : à la base des calcaires francs dominants, probablement poreux, et au sommet une alternance de marnes et de calcaires. Les proportions entre les deux termes varient de 1/3-2/3 à 2/3-1/3. Les épaisseurs maximales sont localisées sur la fosse de Pithiviers. Au nord-est, elles varient de 15 à 40 m.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



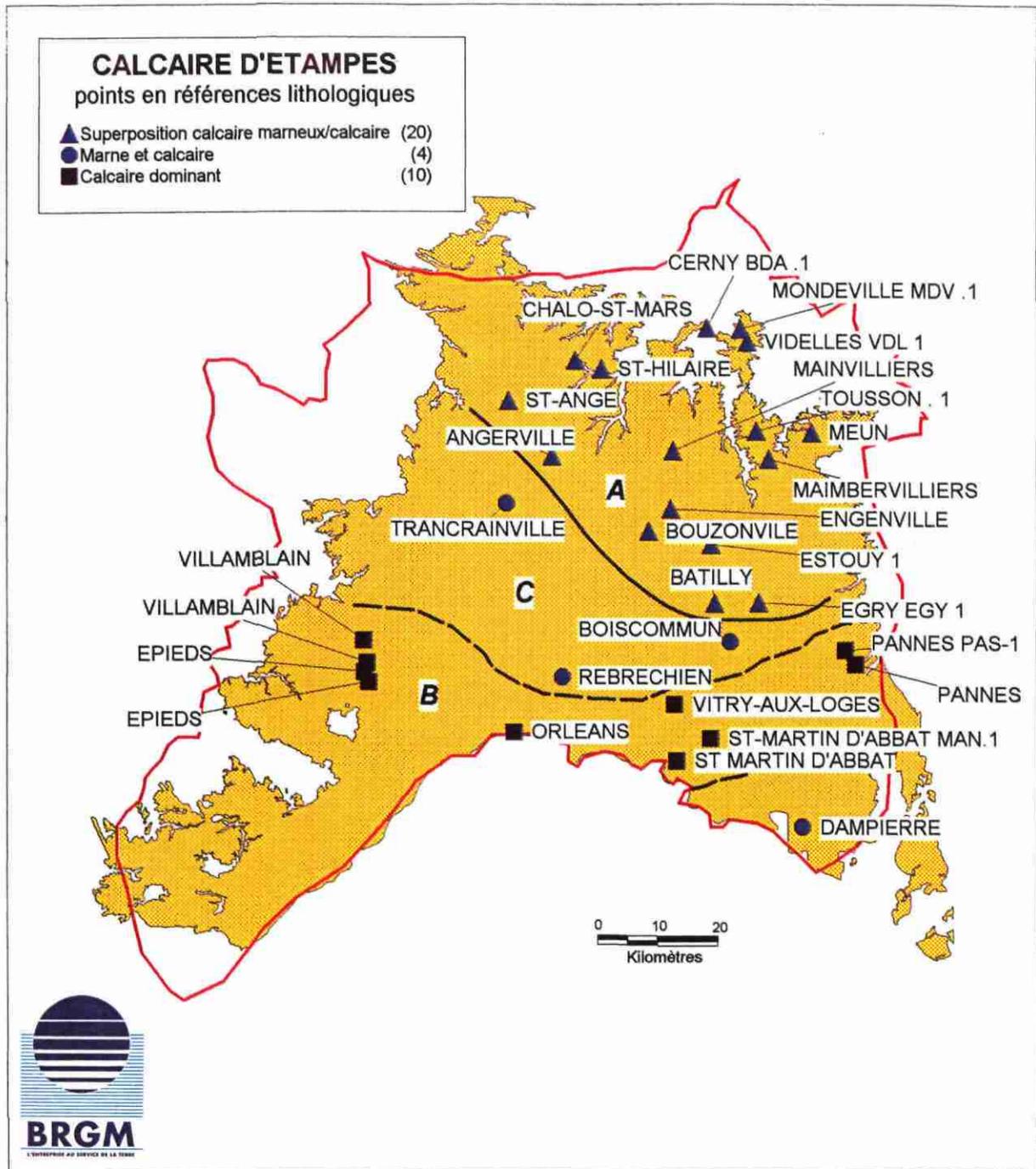
Fig. 2.10 – Sables de Fontainebleau : distribution des transmissivités.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.11 – Sables de Fontainebleau : distribution des faciès lithologiques.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.12 – Calcaire d'Etampes : distribution des faciès lithologiques.

Une zone B, à dominante calcaire, apparaît le long d'une ligne Villamblain-Orléans-Saint-Martin d'Abbat-Pannes. Des épaisseurs voisines de 50 m sont atteintes vers Saint-Martin d'Abbat.

En zones C; de Trancrainville à Rebrechien, la série est composée d'une alternance aléatoire de marnes et calcaires. Dans le Gâtinais, un forage à Dampierre donne une large dominante marneuse sur une série réduite à 12 m d'épaisseur.

La partie sud-ouest non reconnue par les forages diagraphiés n'est pas rattachée aux zones précédentes.

b) Distribution des transmissivités (fig. 2.13)

Les forages qui traversent les Calcaires d'Etampes sont nombreux (92 points). On distingue très nettement une zone au centre du bassin où la transmissivité est plus élevée avec de nombreux points à 10^{-2} m²/s et quelques points à 10^{-1} m²/s. Cette zone correspond au secteur karstique du Nord d'Orléans. Au-delà, les transmissivités sont de l'ordre de 10^{-3} m²/s.

2.10. MOLASSE DU GATINAIS

Lithologie (fig. 2.14)

La Molasse du Gâtinais montre un faciès relativement constant d'argile et de marne verte.

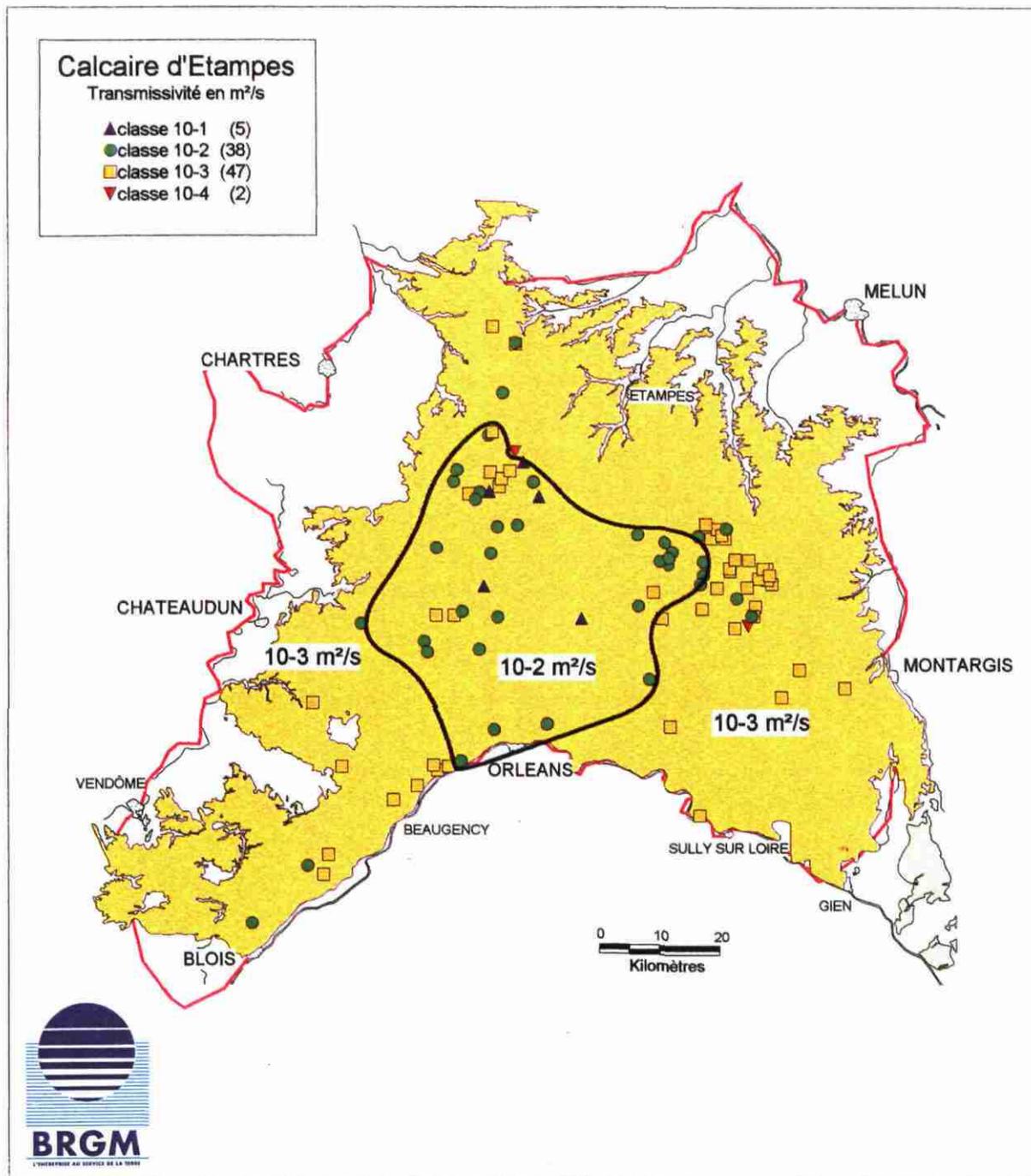
Au sud-est, dans le Gâtinais, on observe des niveaux sableux. Le corps principal atteint 20 m au nord-est de Vitry-aux-Loges. Très rapidement l'épaisseur régresse et varie de 1 à 5 m sur l'ensemble du bassin où le niveau est régulièrement suivi. Cet imperméable, peu épais en dehors du Gâtinais, est continu à l'échelle du bassin.

2.11. CALCAIRE DE PITHIVIERS

a) Lithologie (fig. 2.15)

Malgré un nombre de points références limité, trois domaines sont identifiables :

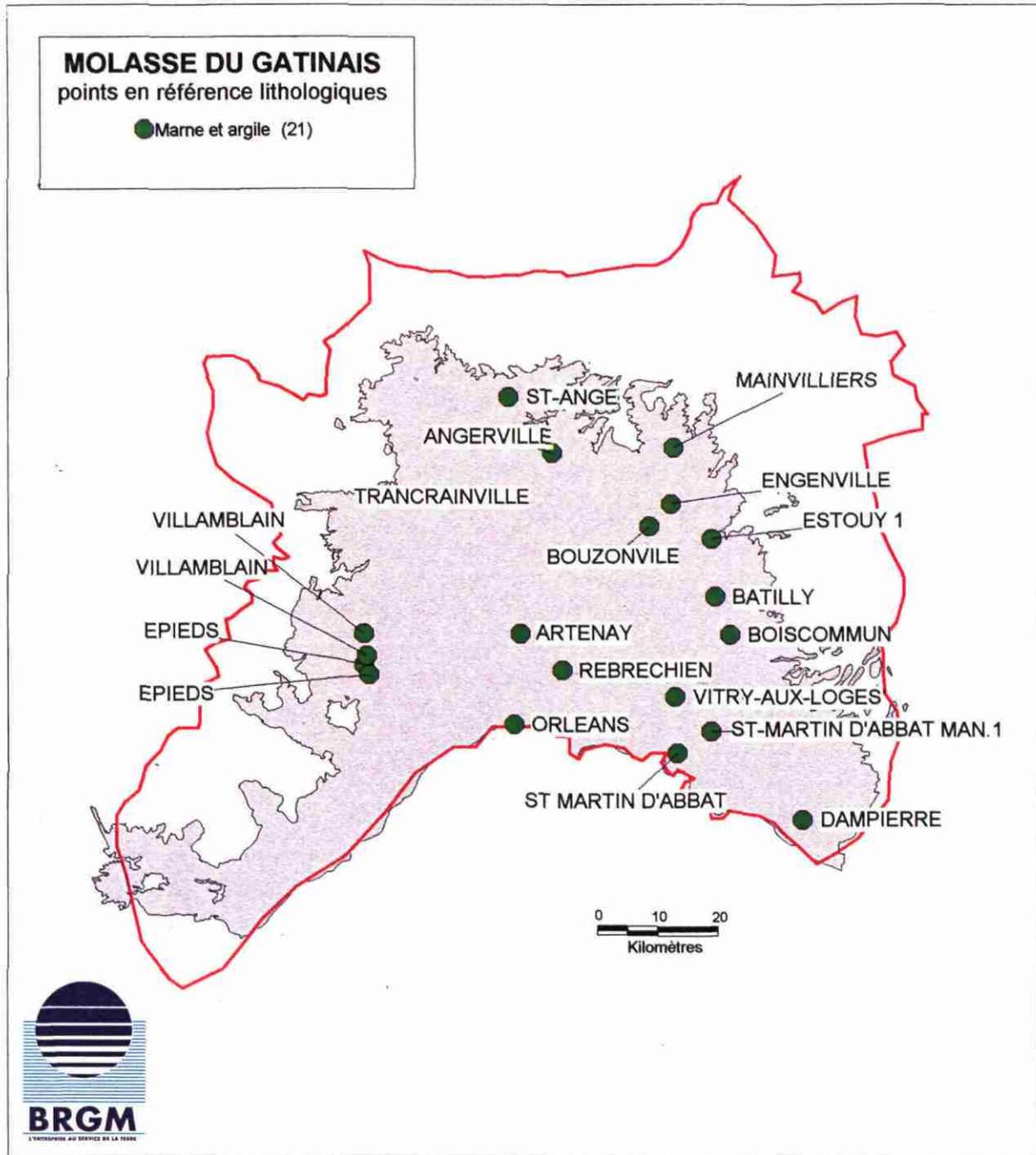
- au centre et au sud, une zone A constituée de calcaires francs plus ou moins meulièrement. Elle représente le secteur à plus forte possibilité de fracturation-dissolution. On observe des épaisseurs voisines de 35 m en Orléanais ;
- au nord-est, une zone B montre une alternance de bancs plurimétriques de calcaire, de calcaire légèrement argileux et de marne. L'épaisseur maximale avoisine 25 m. Cette zone est le pôle le plus argileux de la formation. La continuité horizontale n'a pu être encore établie ;



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



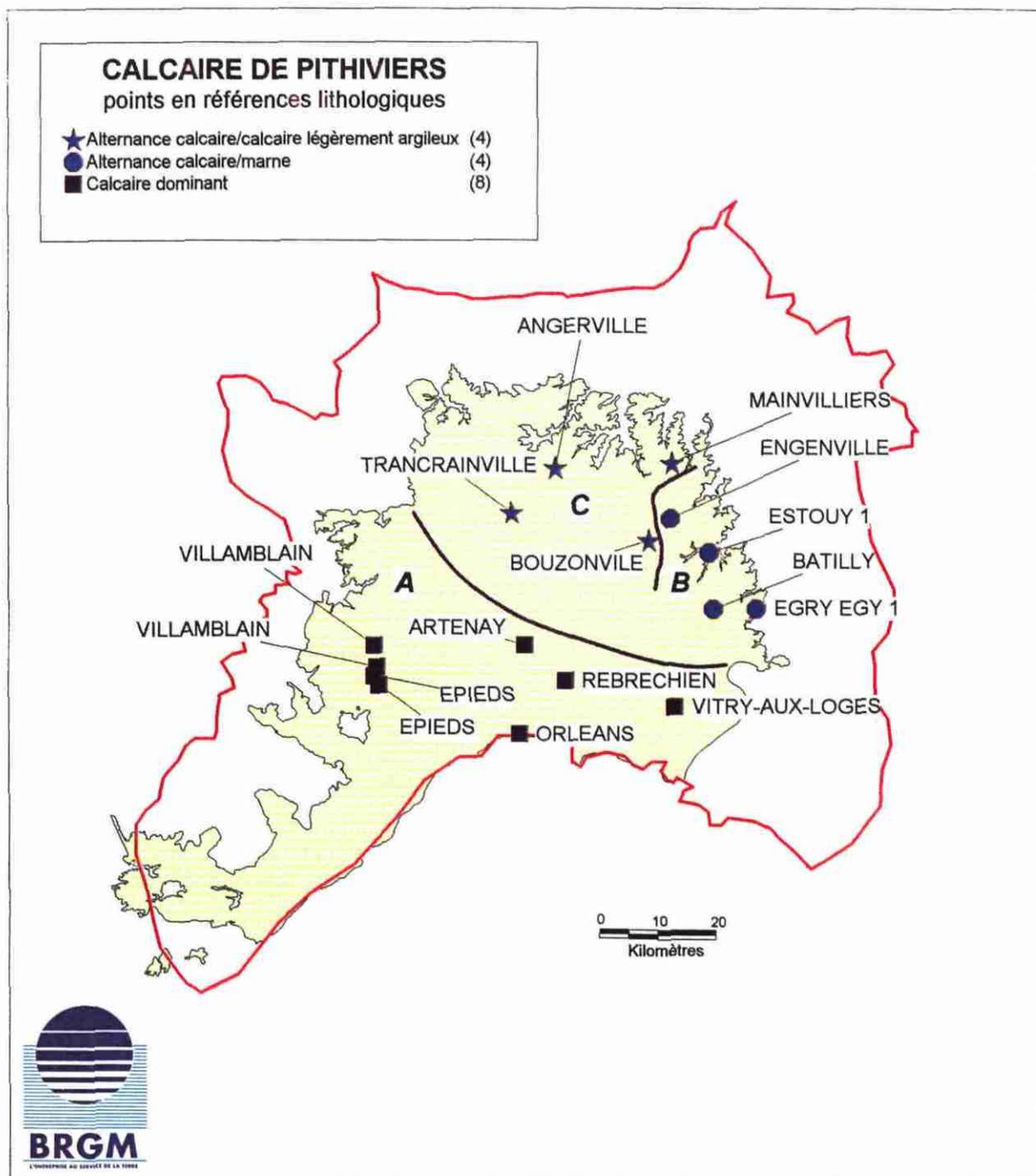
Fig. 2.13 – Calcaire d'Etampes : distribution des transmissivités.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.14 – Molasse du Gâtinais : distribution des faciès lithologiques.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.15 – Calcaire de Pithiviers : distribution des faciès lithologiques.

- au centre et au nord, une **zone C** montre une alternance en bancs plurimétriques de calcaires francs et de calcaires légèrement argileux. Elle atteint une épaisseur de 40 m à Bouzonville.

Les calcaires sont décrits comme massifs, indurés, tendres, crayeux, siliceux, grumeleux, ... , et doivent être considérés comme particulièrement hétérogènes dans le détail.

b) Distribution des transmissivités (fig. 2.16)

Les valeurs de transmissivités au centre du bassin sont comprises entre 10^{-2} et 10^{-1} m²/s. Comme pour les calcaires d'Etampes les points d'information correspondent aux zones karstiques du Nord d'Orléans. En dehors de cette zone, les valeurs de transmissivité restent fortes avec une moyenne de 10^{-2} m²/s.

2.12. MARNE DE BLAMONT

Lithologie (fig. 2.17)

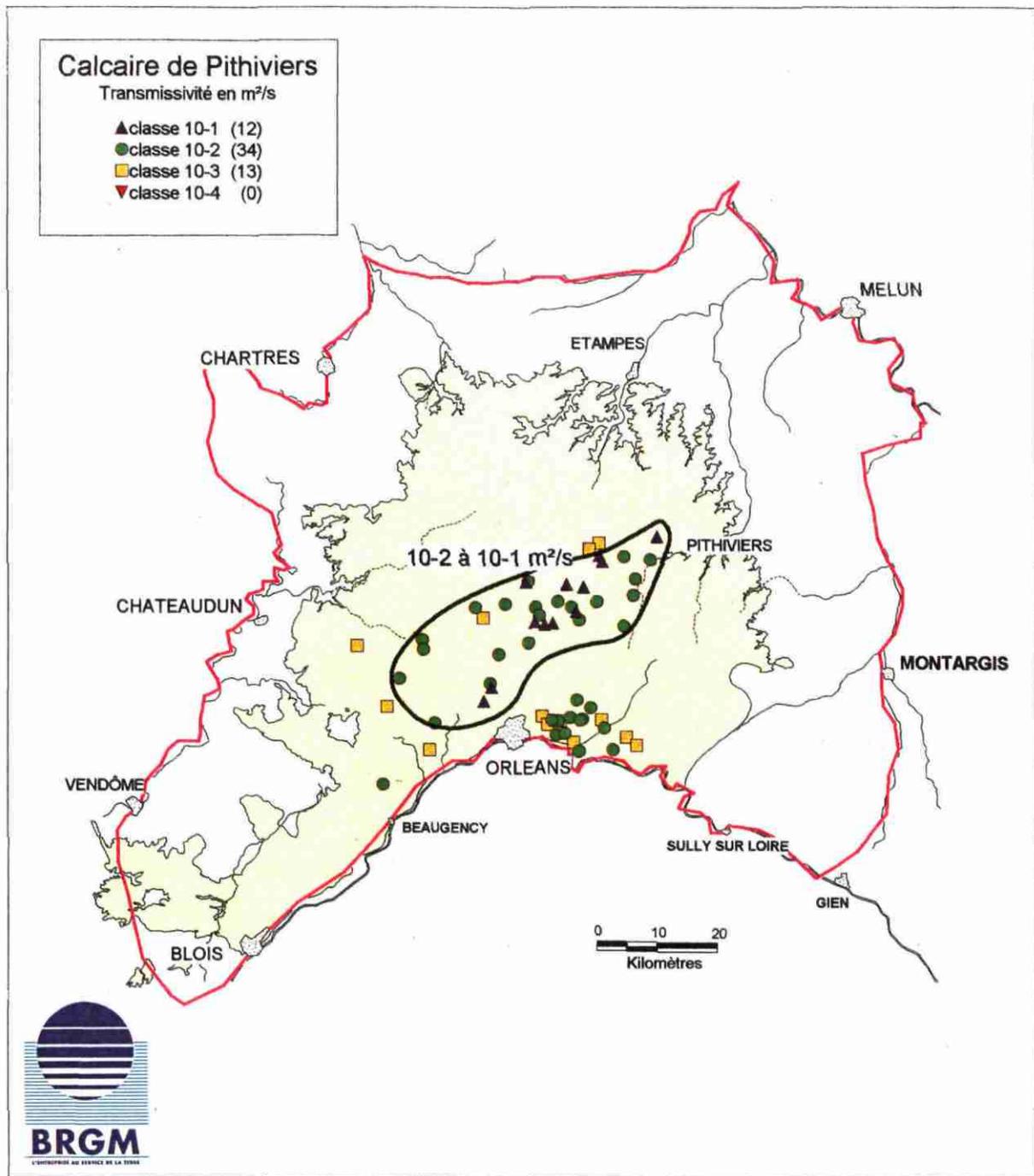
Les informations sont limitées et peu précises. A l'est, en Gâtinais, la formation est décrite comme une marne grise à forte argilosité (GR). A Artenay, le niveau à forte argilosité se développe sur 8 m d'épaisseur ; il est décrit comme une alternance d'argile et de calcaire marneux. Vers l'ouest, la formation perd de l'épaisseur et s'enrichit en calcaire, expliquant sa détection très délicate en l'absence de diagraphies. Une suite de forages à Villamblain montre très nettement l'existence de ce niveau dans un secteur où il n'était pas cartographié. Son épaisseur évolue de 0,6 à 2 m et le faciès est un calcaire marneux.

L'horizon à dominante marneuse est probablement faiblement poreux ; il s'amenuise vers l'ouest et disparaît. Il assure un rôle de couverture au Calcaire de Pithiviers.

2.13. CALCAIRE DE L'ORLEANAIS

Lithologie (fig. 2.18)

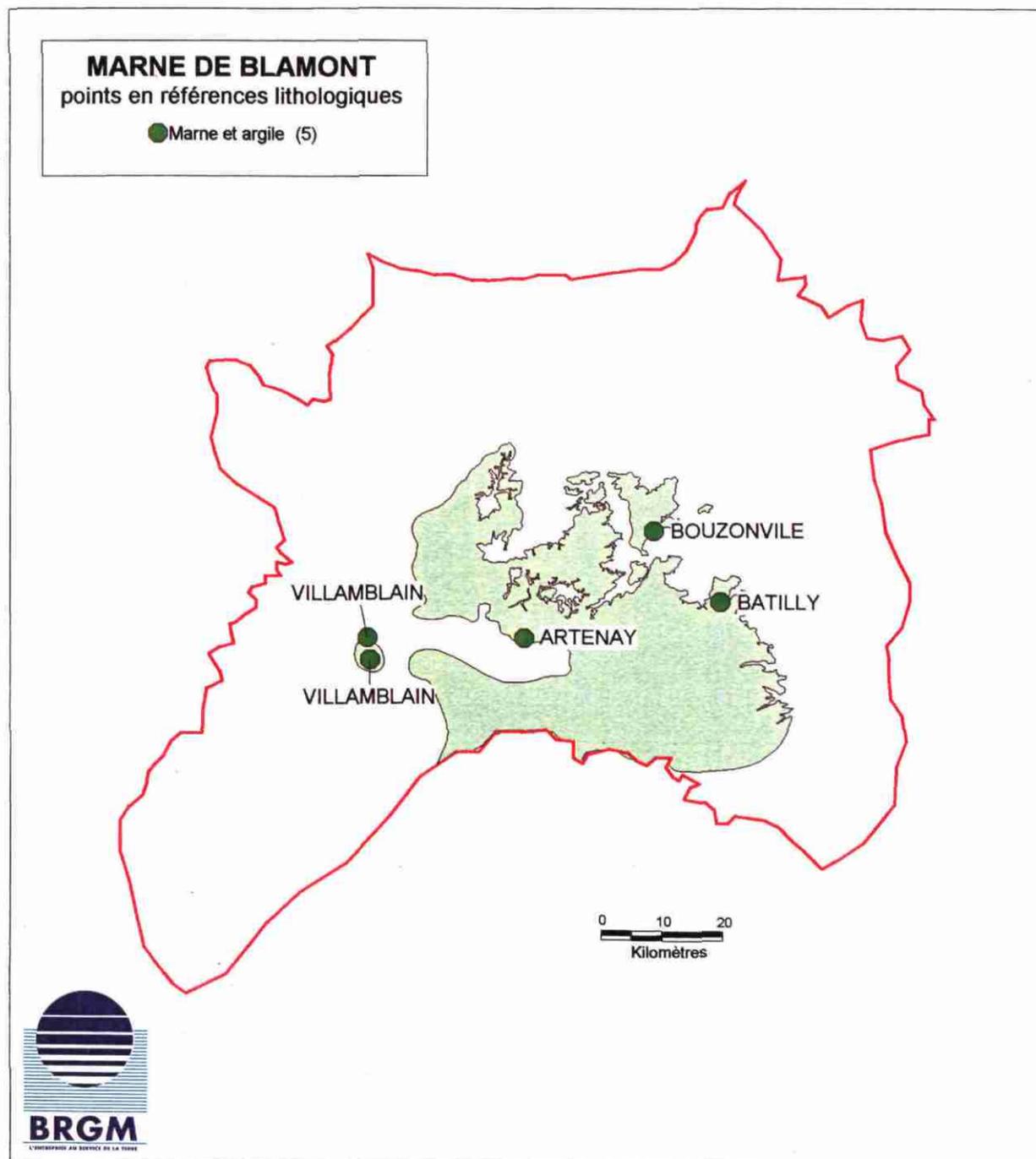
Les informations montrent une relative homogénéité de faciès avec des calcaires purs ou très peu argileux. Ils sont parfois partiellement indurés (Villamblain) ou pulvérulents (Artenay).



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



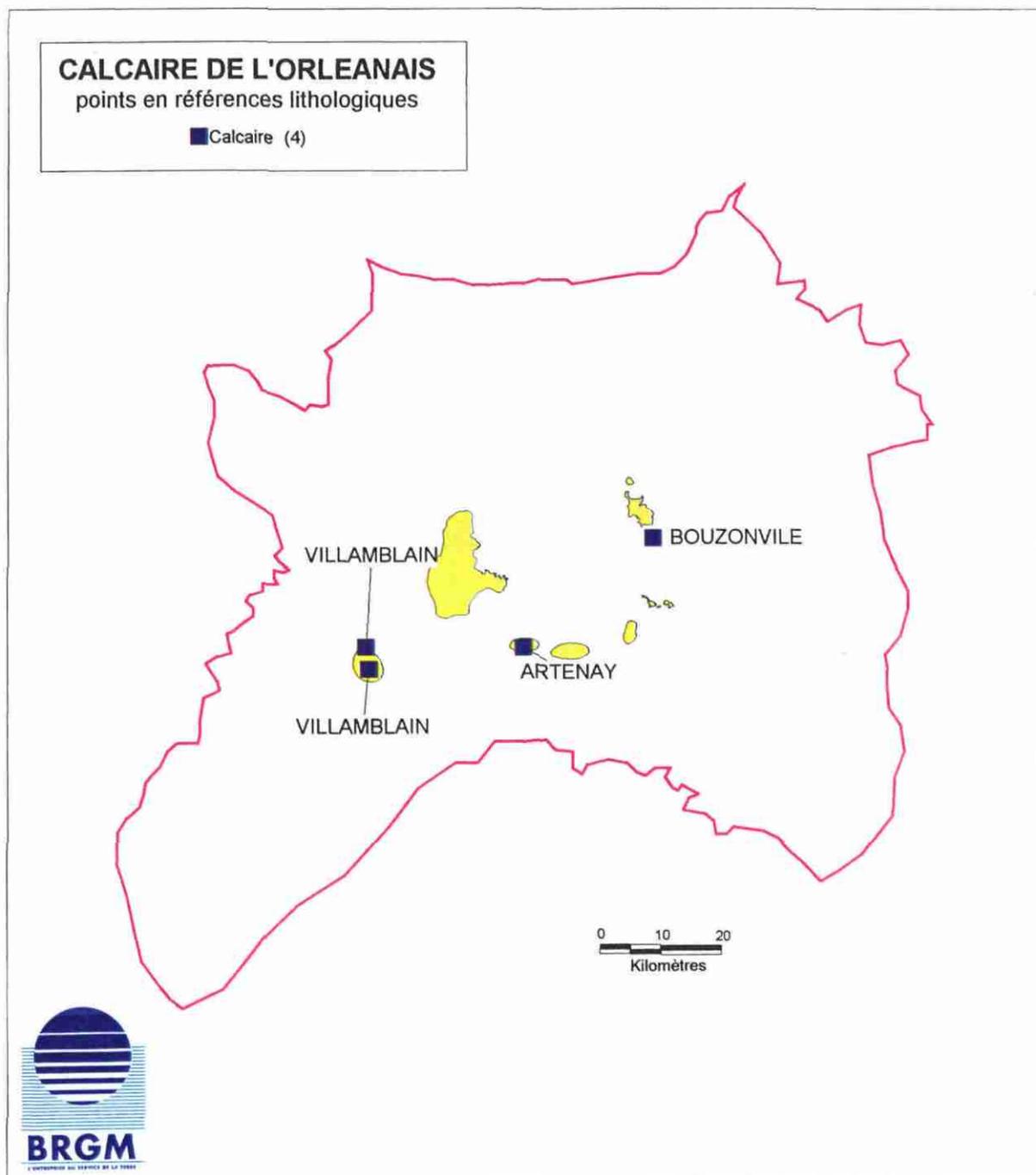
Fig. 2.16 – Calcaire de Pithiviers : distribution des transmissivités.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.17 – Marne de Blamont : distribution des faciès lithologiques..



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie



Fig. 2.18 – Calcaire de l'Orléanais : distribution des faciès lithologiques.

2.14. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE TRANSMISSIVITÉS

Le tableau 4 récapitule les valeurs moyennes des transmissivités des formations aquifères de la Beauce. De façon générale les transmissivités sont comprises entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s. Les formations des Sables de Fontainebleau et de la craie ont des transmissivités plus faibles d'une puissance de 10. Les épaisseurs moyennes de ces formations sont comprises entre 10 et 30 m. Il est possible de calculer un ordre de grandeur des perméabilités des formations (la transmissivité étant le produit de la perméabilité par l'épaisseur).

Celles-ci sont voisines de 10^{-4} m/s. Il faut garder en mémoire que ces valeurs ne sont que des moyennes obtenues à partir d'un échantillon dans lequel on peut trouver de très fortes et de très faibles valeurs.

Niveau géologique	Nombre de points	Transmissivité moyenne (m ² /s)	Épaisseur moyenne (m)	Perméabilité (m/s)
Craie	36	10^{-3}	-	-
Calcaire éocène	80	10^{-2}	25,2	4×10^{-4}
Calcaire de Brie	17	10^{-2}	10,2	10×10^{-4}
Sables de Fontainebleau	11	10^{-3}	30,3	0.3×10^{-4}
Calcaire d'Etampes	92	10^{-2}	23,6	4×10^{-4}
Calcaire de Pithiviers	59	10^{-2}	18,0	6×10^{-4}

Tabl. 4 - Tableau récapitulatif des transmissivités des formations géologiques aquifères de la Beauce.

On ne possède pas de données permettant d'évaluer les perméabilités des formations imperméables ou semi-perméables comme la Molasse du Gâtinais, ou les Argiles vertes. On peut imaginer qu'elles sont inférieures de deux puissances de dix à celles des formations aquifères, donc comprises entre 10^{-7} et 10^{-5} m/s.

3. Conditions de fonctionnement et limites de l'aquifère général de Beauce

3.1. LA DEMARCHE ET LES DONNEES UTILISEES

La définition des limites de "la nappe de Beauce" et des conditions hydrauliques caractérisant ces limites a été faite, tronçon par tronçon, à partir de coupes faites sur le modèle géologique du bassin de la carte piézométriques des basses eaux de 1994 et des lignes d'eau de la Loire.

a) La piézométrie des basses eaux de 1994

La carte des basses eaux de 1994 a été réalisée à partir de 1 500 points parfaitement nivelés. Cette carte couvre l'ensemble du domaine d'étude. Les mesures des niveaux de la nappe ont été faites à la fin du mois d'octobre 1994 et présentent ainsi une surface piézométrique stable et synchrone.

Au cours de cette campagne de mesure, la nappe de Beauce, ou du moins la tranche supérieure de la nappe (et son toit), avait été considérée comme un aquifère monocouche sur l'ensemble du domaine, à l'exception du secteur nord-est où les niveaux imperméables des Argiles vertes séparent l'aquifère en deux niveaux distincts : l'oligomiocène et l'éocène. Deux cartes piézométriques ont été tracées sur ce secteur.

Le tracé des isopièzes a été fait en tenant compte des cartes géologiques qui donnent les limites d'extension des formations aux affleurements. La connaissance précise des limites d'extension sous recouvrement et des épaisseurs des formations géologiques, connues grâce au modèle géologique maintenant disponible, permet de corriger le tracé des isopièzes en particulier en bordure du domaine là où des extrapolations erronées avaient pu être faites.

b) Le modèle géologique du bassin

Le modèle géologique donne la limite d'extension et l'épaisseur de chacune des formations selon un maillage kilométrique. Il a permis d'obtenir automatiquement le tracé de coupes géologiques avec une superposition de la piézométrie de 1994. La détermination de la surface piézométrique par rapport aux toits des différentes formations géologiques permet de décrire l'hydrogéologie du système sur l'ensemble du domaine d'étude et en particulier sur les limites de celui-ci.

c) La ligne d'eau de la Loire

La Loire constitue l'exutoire principal de la nappe de Beauce sur les limites sud de celle-ci.

L'altitude de la ligne d'eau de la Loire a été communiquée par la DIREN Centre (service de Bassin Loire Bretagne, division Etudes) pour 2 situations :

- en étiage, où le débit de la Loire est maintenu constant à la valeur de $62 \text{ m}^3/\text{s}$ à Gien ;
- pour le module (débit moyen égal à $353 \text{ m}^3/\text{s}$ à Gien).

La connaissance précise de cette ligne d'eau permet de définir les échanges entre la nappe et la Loire.

3.2. LES DIFFERENTS TYPES DE LIMITES HYDROGEOLOGIQUES

Les conditions aux limites nécessaires à la conception du modèle hydrodynamique ont été étudiées et déterminées à partir de la géologie, de la piézométrie de 1994 et de contrôles de détail effectués soit à la faveur de levés de terrain spécifiques, soit par examen des données et informations ponctuelles contenues dans la Banque du Sous-Sol. Les conditions aux limites retenues sont stables dans le temps. Quatre types de conditions aux limites sont théoriquement possibles (voir ci-dessous). Trois types de conditions ont été retenus pour la Beauce.

a) Condition de potentiel imposé

Cette condition hydraulique correspond à une limite du domaine où le niveau piézométrique de la nappe est maintenu localement constant par la présence d'un cours d'eau (ou d'un plan d'eau). On suppose dans ce cas que le cours d'eau est en mesure soit d'évacuer toute l'eau de drainage qui arriverait sur lui, soit d'apporter toute l'eau nécessaire au maintien du niveau de la nappe sans variation piézométrique sur cette limite. Ce type de condition à potentiel imposé se rencontre au droit de la Loire ou de la Seine qui drainent la nappe à la périphérie sud et nord-est de la zone d'étude.

b) Condition de flux nul

Cette condition hydraulique signifie étymologiquement que les échanges latéraux -de la nappe avec l'extérieur du domaine- sont inexistant. La limite est alors confondue avec une ligne de courant. Ce cas correspond aux secteurs où la remontée d'un substratum imperméable limite l'extension latérale de l'aquifère et empêche les écoulements transverses.

c) Condition de cote de débordement

Cette condition hydraulique existe lorsque le niveau piézométrique de la nappe atteint la surface topographique. L'altitude du sol fixe dans ce cas un seuil maximum que la nappe ne peut pas dépasser. Il y a alors un débit de débordement correspondant. C'est une condition facultative : elle est conditionnée par l'hypsométrie de la nappe. Si le toit de la nappe descend en-dessous de la surface topographique, cette condition s'efface au profit d'une autre : une cote de débordement plus externe, une ligne à flux nul ou une cote à potentiel imposé. Ce cas correspond aux lignes de sources et aux parties amont des cours d'eau qui sont alimentées par la nappe en périodes de hautes eaux, mais qui tarissent en périodes d'étiage.

Une variante de ce type de limite est la cote de déversement : l'aquifère est totalement érodé (entaillé) à la faveur d'une dépression topographique et la nappe s'écoule librement. L'intersection du mur de l'aquifère et de la surface topographique est une ligne qui se confond avec la cote de déversement. Ce type d'écoulement fonctionne en permanence y compris à l'étiage. Une telle limite s'observe pour les Sables de Fontainebleau reposant sur les Marnes à huîtres, au nord-ouest de la zone d'étude, et dans les calcaires de Brie au contact avec les Argiles vertes.

d) Condition de flux imposé

Cette condition hydraulique existe lorsque la nappe est en échange sur ses limites avec un autre aquifère extérieur au domaine, mettant en jeu un écoulement souterrain traversant la limite. En modélisation, on traduit ce fait par l'imposition d'un flux rentrant (ou sortant). Ce cas ne se présente pas pour le système de la nappe de Beauce dans la configuration qui a été choisie.

3.3. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DE L'AQUIFERE DE BEAUCE

Fonctionnement hydraulique général de la nappe de Beauce

Le système aquifère de la nappe de Beauce est alimenté par infiltration directe ou indirecte*. La carte piézométrique des basses eaux de 1994 présente un dôme piézométrique situé tout à fait au nord du domaine d'étude entre les vallées de la Drouette affluent de l'Eure, et de la Remarde affluent de l'Orge, à une altitude de 148.7 m NGF. L'ensemble est drainé radialement par les cours d'eau des bassins de la Seine (50 m NGF à Melun) et de la Loire (90 m NGF à Orléans).

* *Infiltration directe : la pluie infiltrée recharge la nappe phréatique (1^{ère} nappe libre rencontrée)*

Infiltration indirecte : la pluie alimente le ruissellement qui à son tour, par infiltration localisée, alimente la nappe phréatique

Fonctionnement hydraulique de la nappe sur sa périphérie

On décrit ci-dessous les conditions d'écoulement et de fonctionnement hydraulique de la nappe sur la totalité de la périphérie du domaine d'étude. On a, pour ce faire, identifié douze tronçons qui présentent chacun des conditions homogènes d'écoulement (fig. 3.3).

a) Au sud, le long de la Loire

La carte piézométrique des basses eaux de 1994 montre un drainage global de toute la partie sud de la nappe par la vallée de la Loire. Le bassin versant hydrogéologique correspondant remonte jusqu'à la vallée de la Drouette. La ligne de partage des eaux entre les bassins Loire et Seine sur le secteur sud-est de la nappe est assez mal définie sur la carte de 1994. Cette ligne de partage des eaux a été tracée à partir d'isopièzes incertaines en raison du faible nombre de points de mesure disponibles en forêt d'Orléans.

Le modèle géologique qui a été réalisé permet de décrire et d'expliquer le comportement de la nappe sur l'ensemble de cette limite sud. Dans le détail, on identifie 4 types de fonctionnement et quatre tronçons (1 à 4) qui subdivisent cette limite sud.

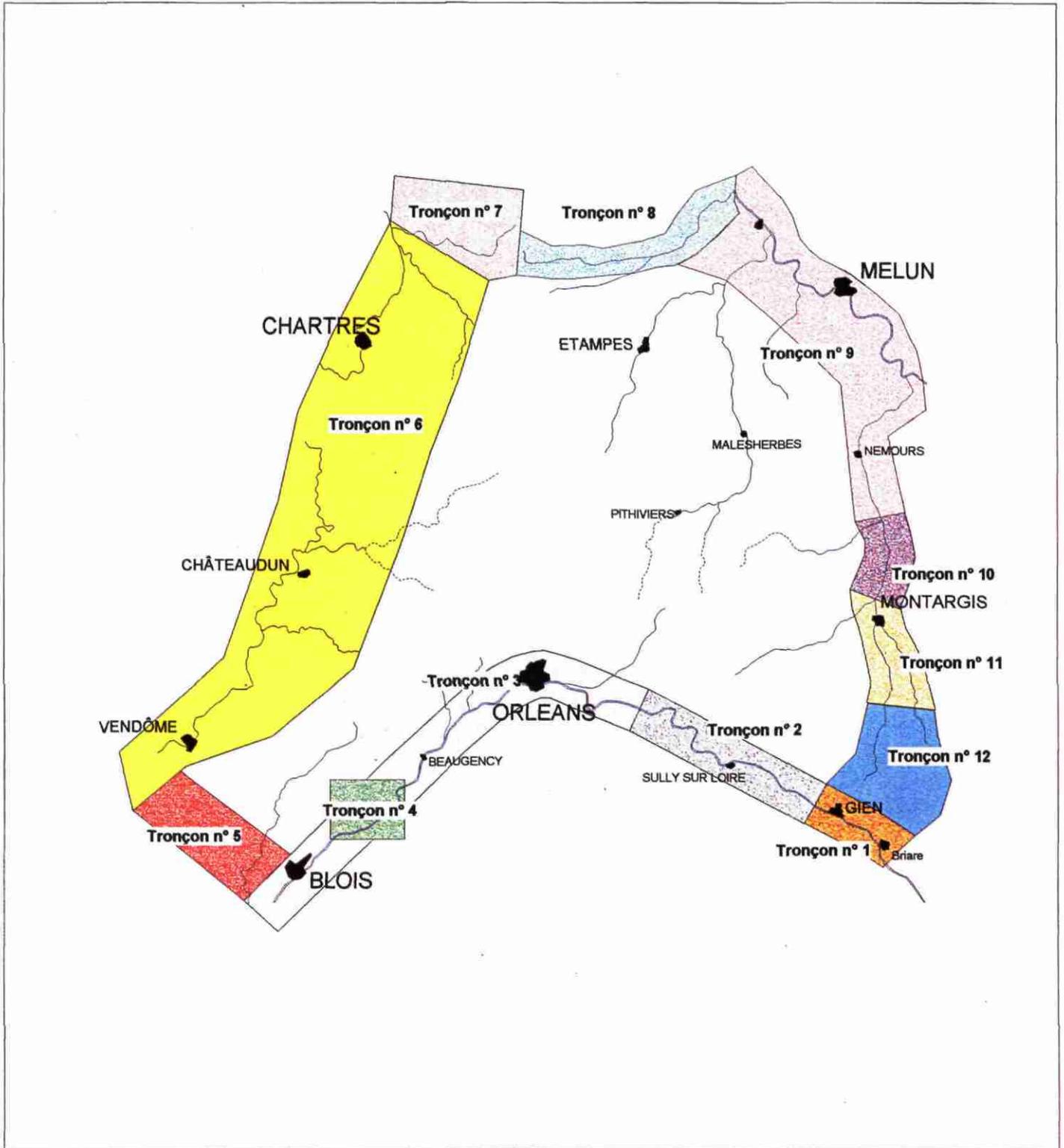


Fig. 3.3. – Analyse par types de limites du système aquifère de Beauce et distribution en douze tronçons de comportements homogènes.

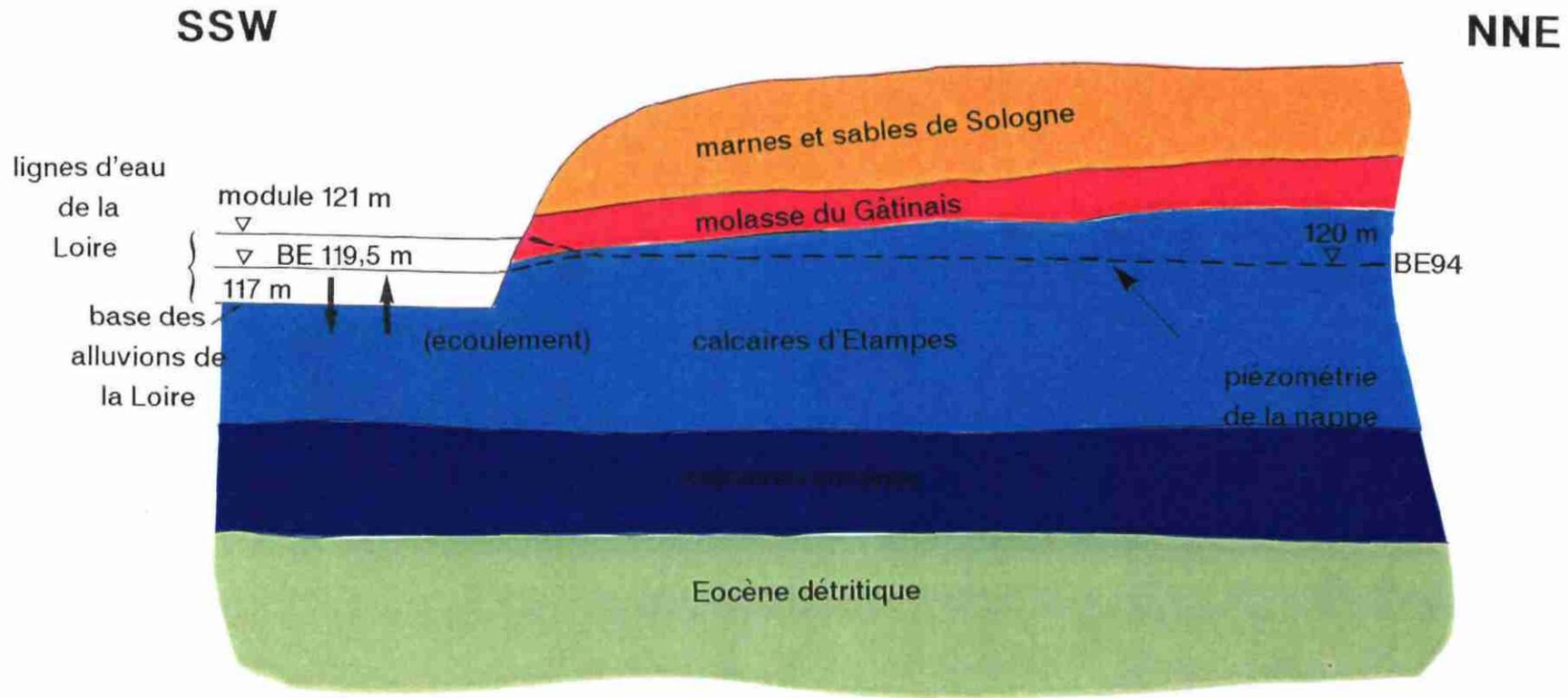


Fig. 3.3.a – Tronçon n° 1. Coupe schématique interprétative, transversalement au Val-de-Loire à hauteur de Gien (à rapprocher de la coupe géologique NS07).

Tronçon n° 1 (tronçon de Gien)

[fig. 3.3.a suivante et coupe géologique NS07 (fig. 1.3.1p) dans volume séparé]

Sur la partie amont de la Loire, sur une dizaine de km au voisinage de la ville de Gien, l'incision du lit majeur de la Loire atteint les Calcaires d'Etampes. Sur ce tronçon, ces calcaires, qui contiennent la nappe de Beauce, sont directement en communication avec les alluvions de la Loire. L'altitude de la ligne d'eau de la Loire est comprise entre 119,5 m NGF (en étiage) et 121 m NGF (module). L'altitude de la surface piézométrique de la nappe, mesurée en 1994, est égale à 120 m NGF, ce qui confirme une liaison directe entre la Loire et la nappe. Cette liaison met en jeu des débits d'échange de la nappe vers la Loire mais n'exclue pas l'éventualité d'une alimentation de la nappe par la Loire en période de crue de la Loire.

On propose d'étendre l'étude du système Beauce vers l'est, en incluant une frange de l'aquifère de la craie qui se trouve en bordure des calcaires et avec lequel des communications hydrauliques sont possibles. Par continuité avec la zone n° 12 (voir la description ci-après) le domaine d'étude pourrait être étendu jusqu'au canal de Briare. Le canal de Briare et la Loire, entre Briare et Gien, coulent directement sur les niveaux de la craie. Le canal emprunte des vallées naturelles et présente une condition hydraulique topographiquement basse et fixe pour l'étude de l'ensemble Beauce/craie.

Conditions aux limites : potentiel imposé égal à l'altitude de la ligne d'eau de la Loire, relayé par le canal de Briare, en direction du tronçon 12.

SSW

NNE

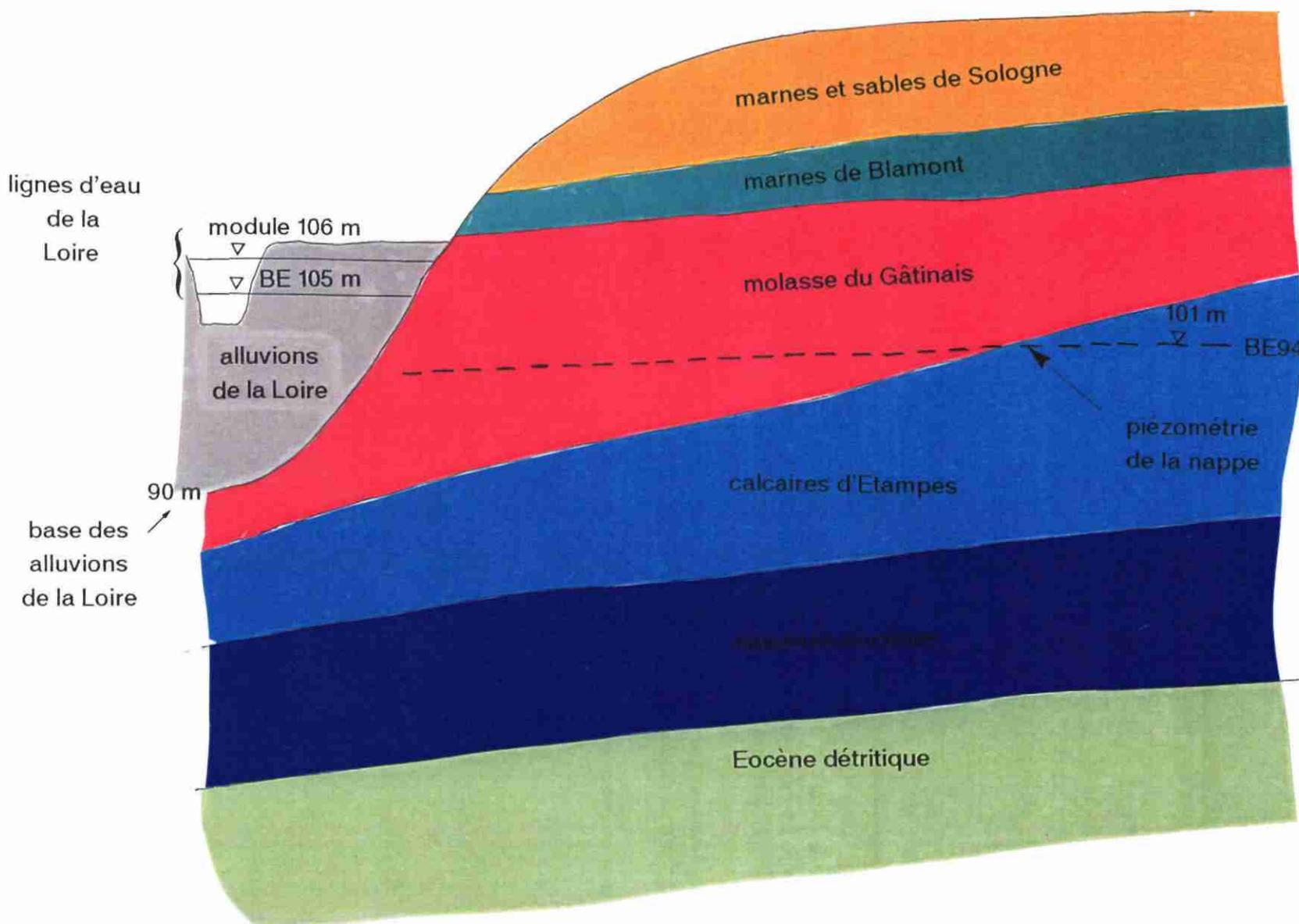


Fig. 3.3.b – Tronçon n° 2. Coupe schématique interprétative, transversalement au Val-de-Loire entre Gien et Chateaufort-sur-Loire (à rapprocher de la coupe géologique NS05).

Tronçon n° 2 (tronçon Gien – Châteauneuf-sur-Loire)

[fig. 3.3.b suivante et coupe géologique NS05 (fig. 1.3.1.n) dans volume séparé]

Entre les villes de Gien et de Châteauneuf-sur-Loire, la base des alluvions de la Loire repose sur la Molasse du Gâtinais. Les niveaux perméables des calcaires d'Etampes et de l'éocène calcaire sont ainsi isolés de la Loire par un semi-perméable dont l'épaisseur est d'environ 10 m au droit de la coupe NS05.

On dispose de peu de mesures piézométriques sur ce tronçon, en vérité deux mesures peu significatives. Un point situé au nord de la ville de Sully, sur la rive droite de la Loire, indique un niveau en situation de basses eaux égal à 107,7 m NGF alors que la ligne d'eau de la Loire est à 111 m NGF en étiage. En amont de Châteauneuf-sur-Loire, on observe 101 m NGF en nappe pour une ligne d'eau à 105 m NGF. Il n'est pas exclu qu'en l'absence de condition drainante basse, ces cotes correspondent à des niveaux dynamiques influencés par des pompages d'irrigation.

Une alimentation de la nappe reste possible, mais avec des débits très faibles car ces échanges se feraient à travers les alluvions de la Loire et la Molasse du Gâtinais. La Loire n'est donc pas la condition hydraulique limitant le système aquifère. Il faut repousser cette condition plus au sud. Le Calcaire d'Etampes se prolonge sous la Sologne. Les données disponibles en 1999 font apparaître que le tronçon comporte une ligne de flux nul passant approximativement à 3 km au sud de la Loire (fig. 3.3.c) et l'ensemble est contraint par les deux conditions à potentiel qu'impose la Loire : à l'amont de Gien et à l'aval de Châteauneuf sur Loire.

Cette limite à flux nul est à l'évidence variable (mobile) dans le temps et sensible à toute modification du régime de la nappe, notamment sous l'effet de pompages qui pourraient survenir. Toutefois, sa position et son déplacement ont peu d'effet sur le bilan d'eau de l'aquifère en rive droite et pour cette raison nous proposons d'en fixer la position selon le tracé de la figure 3.3.c.

Conditions aux limites : limite à flux nul au sud de la Loire, raccordée sur deux conditions à potentiel à l'amont de Gien et à l'aval de Châteauneuf sur Loire.



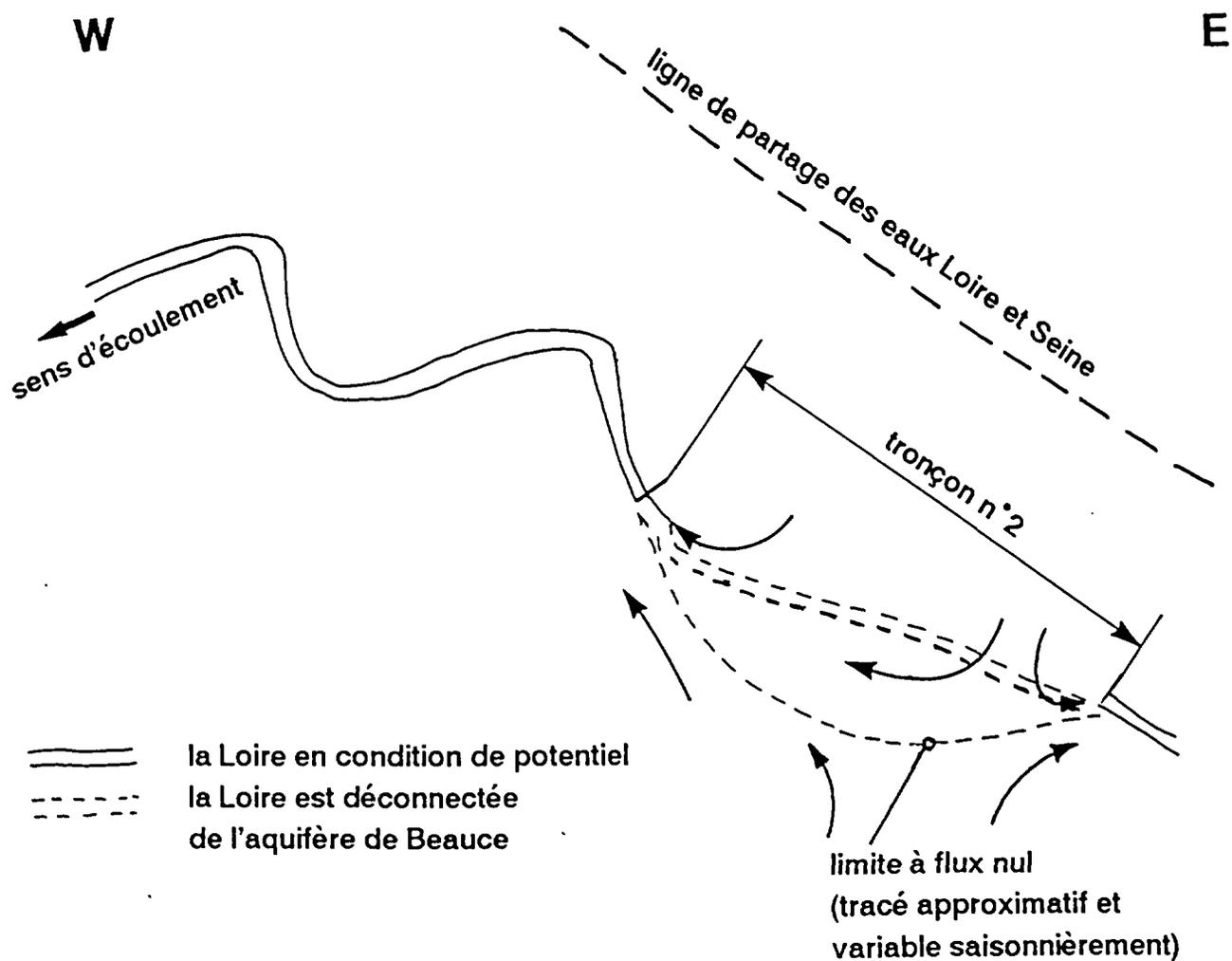


Fig. 3.3.c – Tronçon n° 2. Schéma interprétatif en plan, correspondant à l'extension possible en rive gauche de la Loire du système hydraulique de Beauce.

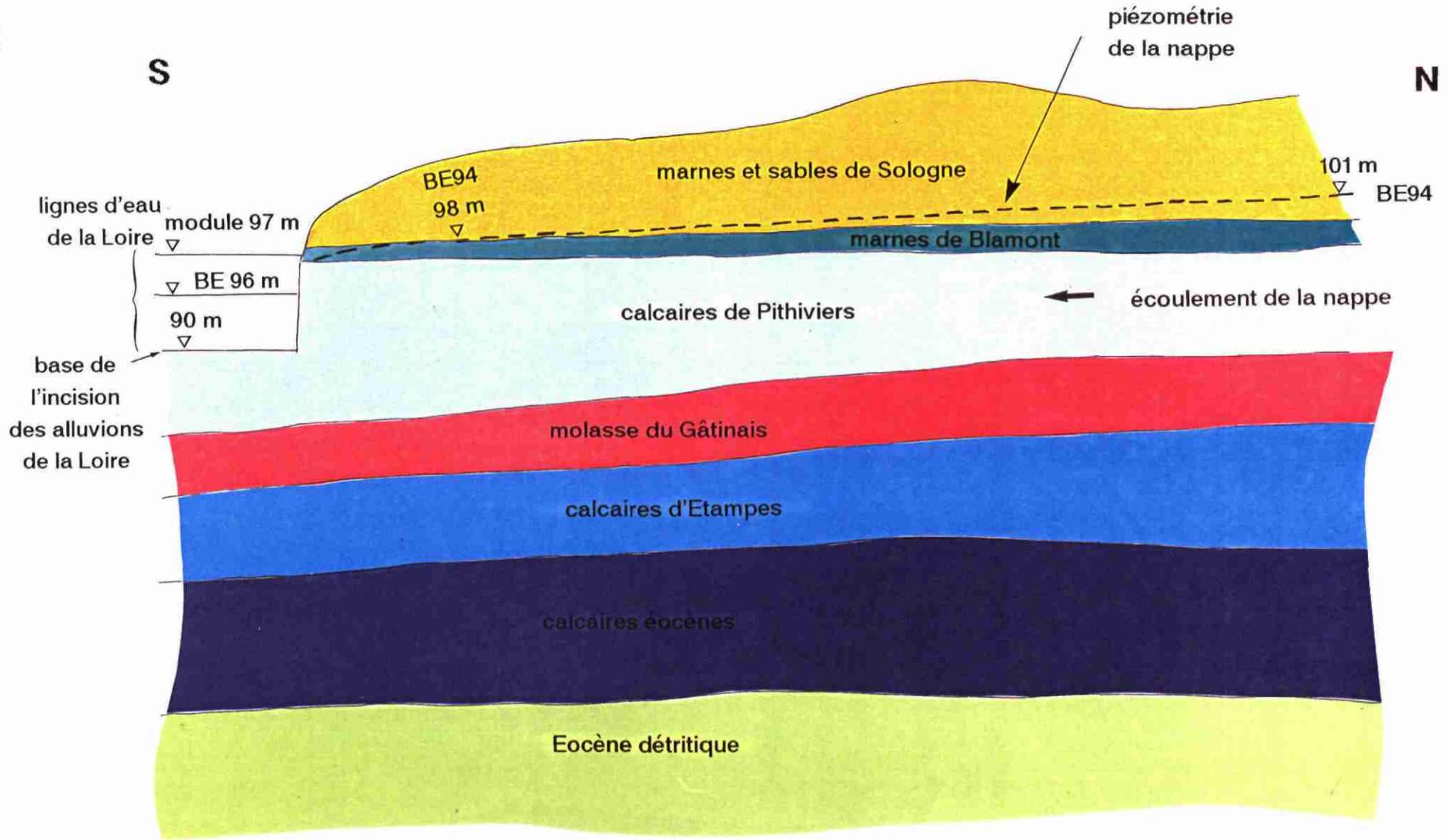


Fig. 3.3.d – Tronçon n° 3. Coupe schématique interprétative, transversalement au Val-de-Loire entre Châteauneuf-sur-Loire et Blois (à rapprocher de la coupe géologique NS04 de Beaugency).

Tronçon n° 3 (Châteauneuf-sur-Loire - Blois)

[fig. 3.3.d, coupe limite 3.3.n suivantes et coupe géologique NS04 (fig. 1.3.1.m) dans volume séparé]

Entre Châteauneuf-sur-Loire et Blois, le lit de la Loire entame les Calcaires de Pithiviers et les communications hydrauliques entre la Loire et la nappe sont possibles. Sur tout ce parcours, l'altitude de la ligne d'eau de la Loire est bien inférieure à celle du toit de la nappe. La Loire draine et impose son potentiel sur tout ce tronçon. Sur la coupe NS04 et le schéma 3.3.d, les niveaux de la Loire fluctuent entre 96 m (étiage) et 97 m (module) et la nappe est à l'altitude de 98 m à quelques centaines de mètres du lit de la Loire.

Conditions aux limites : potentiel imposé égal à l'altitude de la ligne d'eau de la Loire sur la totalité du parcours.

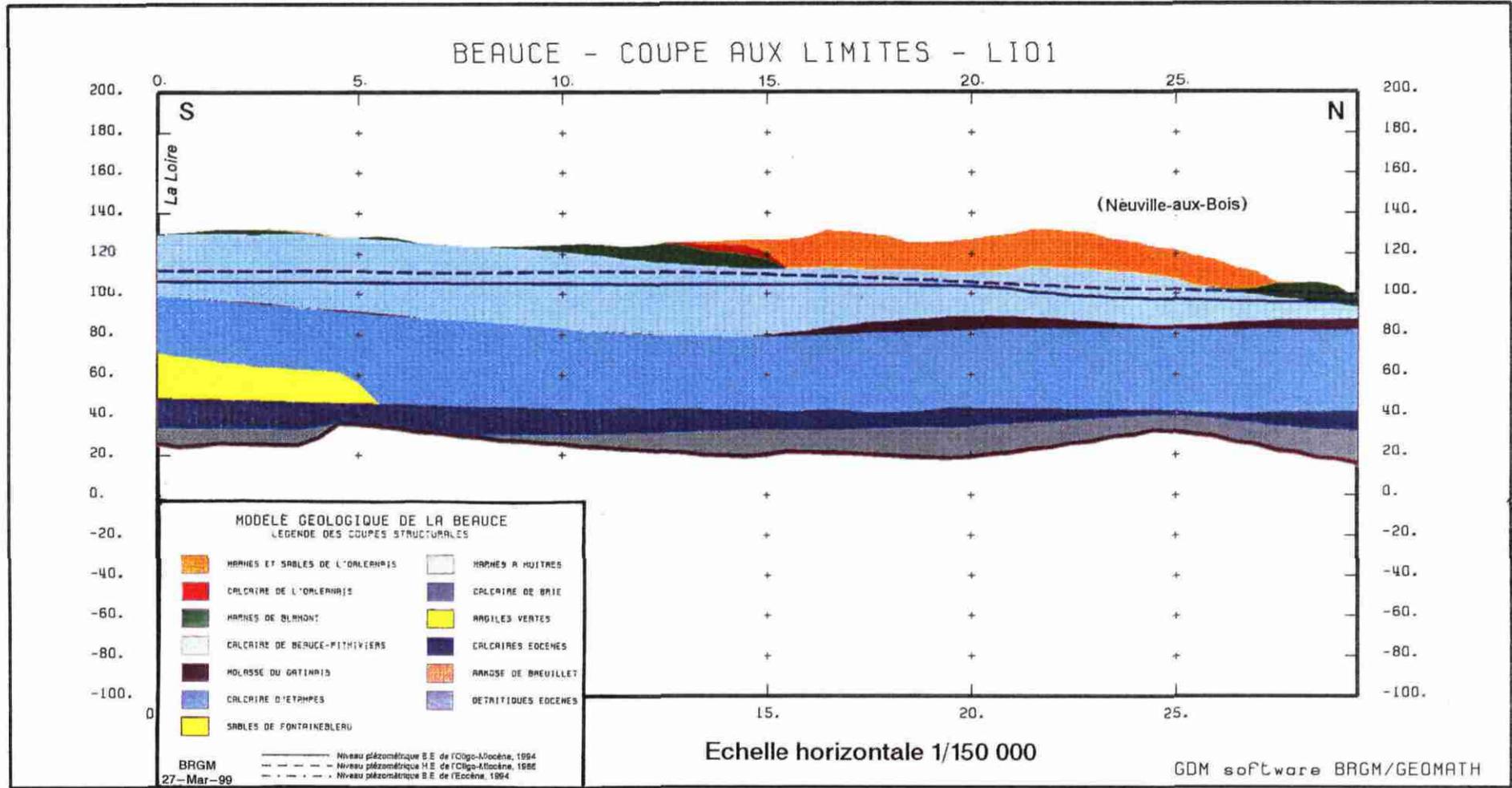


Fig. 3.3.n – Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI01.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1)

SSE

NNW

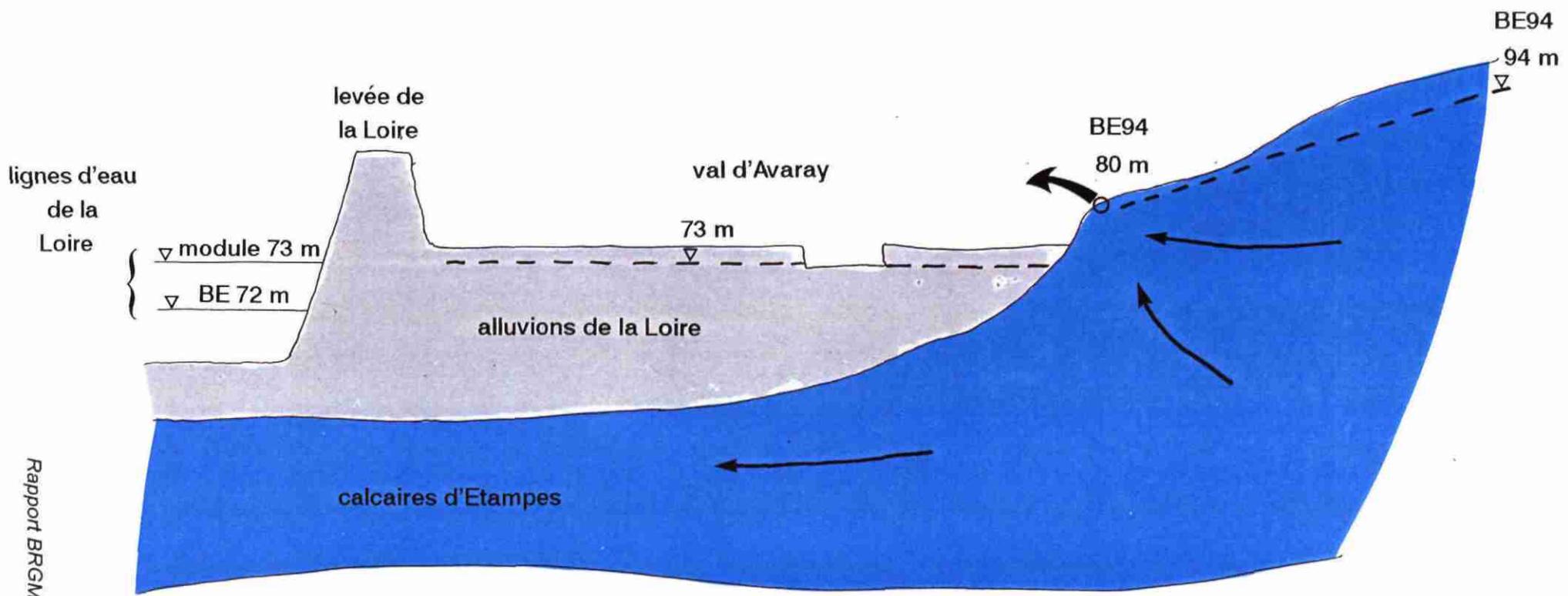


Fig. 3.3e – Tronçon n° 4. Coupe schématique interprétative, transverse au Val-de-Loire sur le val d'Avaray (à rapprocher de la coupe géologique WE01).

Tronçon n° 4 (val d'Avaray)

[fig. 3.3.e suivante et coupe géologique WE01 (fig. 1.3.1.a) dans volume séparé]

Sur le tronçon n° 4 du val d'Avaray, il est nécessaire de préciser les conditions particulières d'écoulement de la nappe aux abords du Val-de-Loire. La nappe de Beauce comprend sur cette partie deux types d'exutoire : une série de sources en bordure de coteau ainsi que, par place, dans le lit de la Trone et de la Noue, et un écoulement sous les alluvions de la Loire. Cette configuration modifie de façon importante la surface piézométrique sur la limite de la nappe comme il est indiqué sur le schéma de la figure 3.1.a.

Conditions aux limites : cote de débordement sur le coteau le long de la ligne de sources, potentiel imposé au droit de la Loire en prolongement de la zone 3.

WNW

ESE

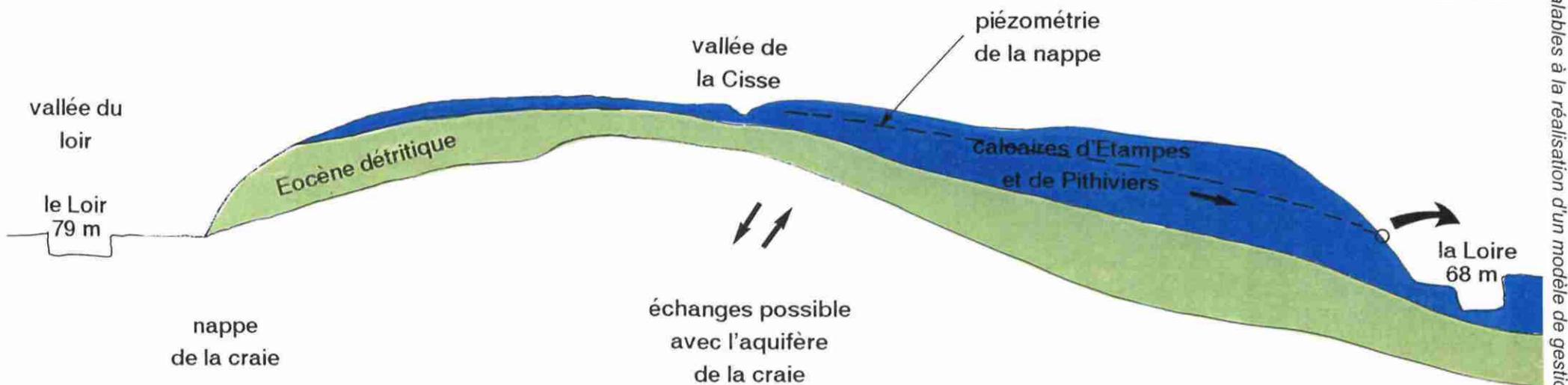


Fig. 3.3.f – Tronçon n° 5. Coupe schématique interprétative, transversalement à la vallée de la Cisse (à rapprocher de la coupe géologique WE01).

Tronçon n° 5 (limite entre la Loire et le Loir)

[fig. 3.3.f, coupe LI02 (fig. 3.3.o) suivantes et coupe géologique WE01 (fig. 1.3.1.a) dans volume séparé]

Après Blois, le Calcaire détritique éocène remonte et ferme le bassin, imposant au Sud-Ouest, entre les vallées de la Loire et du Loir, une condition de flux nul. La Cisse draine une partie de la nappe, mais les écoulements sont orientés principalement en direction de la Loire qui se trouve être en position très basse par rapport à l'altitude de la Cisse. La coupe géologique WE01 montre que la partie calcaire est très peu développée sur le bloc ouest qui présente un aquifère mineur. Par contre des communications hydrauliques restent possibles entre la nappe de Beauce et la nappe de la Craie sous-jacente. C'est la raison pour laquelle on propose d'étendre le domaine d'étude du système Beauce au-delà de la limite d'extension des calcaires et de repousser cette limite d'étude jusqu'au Loir. Ainsi, sur cette zone, on considère distinctement deux niveaux aquifères ayant chacun ses propres conditions aux limites.

Conditions aux limites :

- *pour les Calcaires de Beauce : flux nul en limite sud-ouest de la zone entre la vallée de la Loire et du Loir, la rivière Cisse est à cote de débordement ;*
- *pour l'aquifère de la Craie : potentiel imposé par le Loir en aval du domaine.*

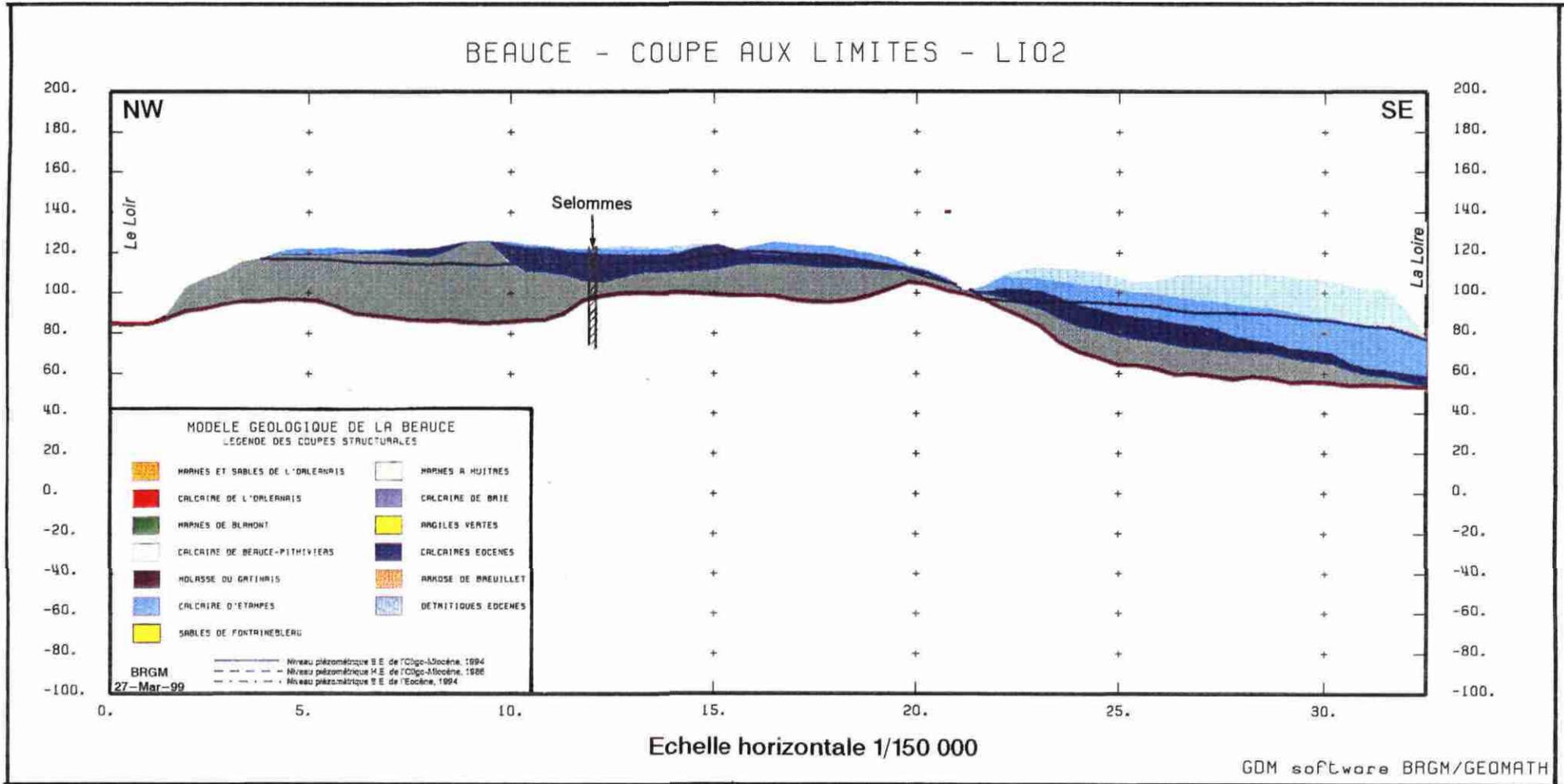


Fig. 3.3.o – Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI02.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1)

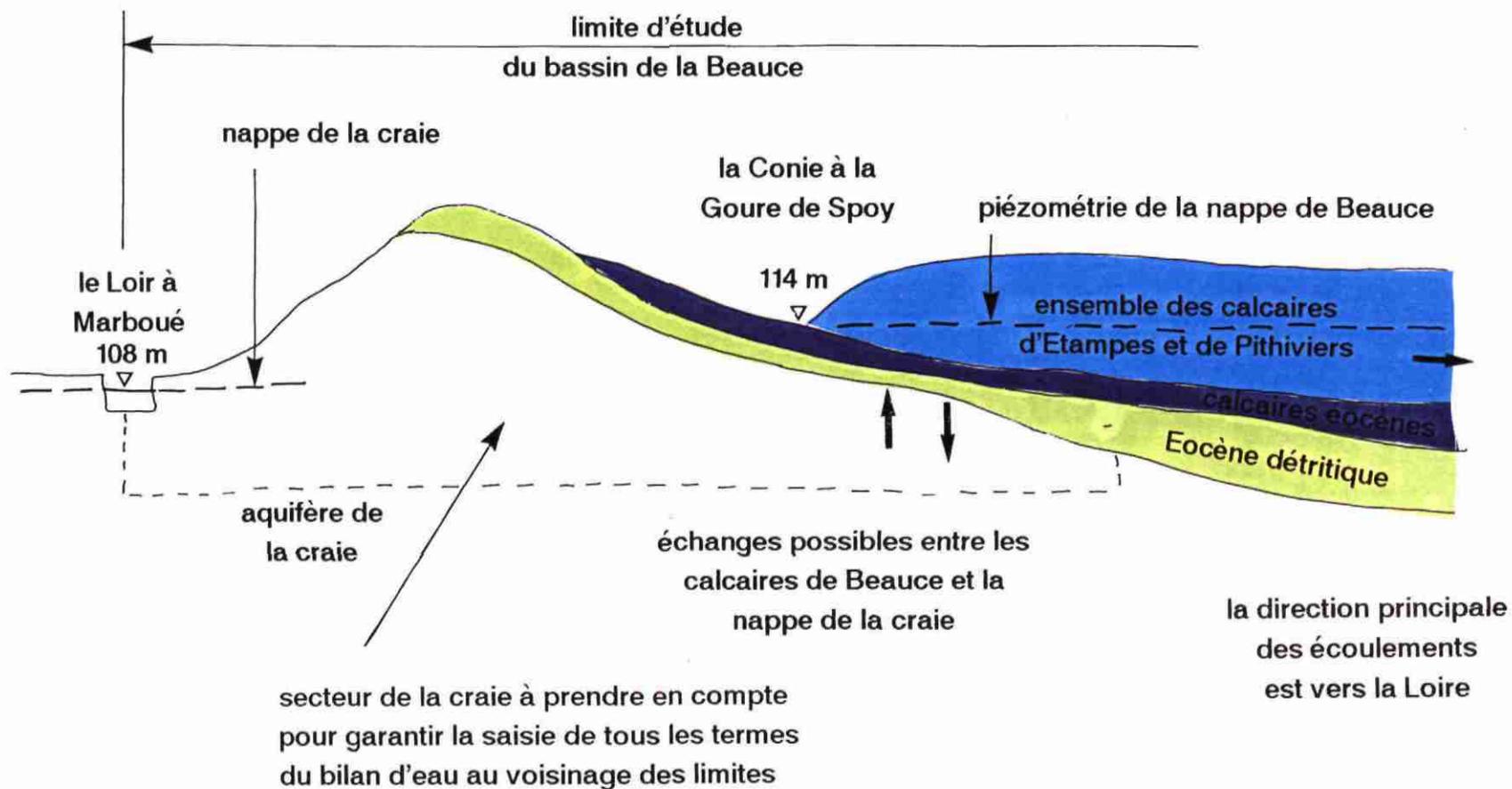


Fig. 3.3.g – Tronçon n° 6 - Coupe schématique interprétative, à l'ouest du bassin, à proximité du Val-de-Loir (à rapprocher de la coupe géologique WE04).

b) A l'ouest, le long de la vallée du Loir

Tronçon n° 6 (vallée du Loir)

[fig. 3.3.g et coupe géologique LI03 (fig. 3.3.p) suivantes]

Sur tout ce tronçon ouest englobant la vallée du Loir, les communications hydrauliques entre la nappe de Beauce et la nappe de la Craie sont probables à partir des accidents majeurs tels que les dômes de Marchenoir et d'Ouzouer. Pour cette raison, on propose de retenir les deux niveaux aquifères (Beauce et Craie) pour l'étude du fonctionnement du système Beauce.

Pour l'aquifère de Beauce (calcaires éocènes), la remontée du substratum (Eocène détritique) vers le nord-ouest du bassin entraîne un biseautage du niveau calcaire, une fermeture du bassin et consécutivement un écoulement principal de la nappe en direction de la Loire au sud-est. Toutefois, trois exutoires naturels locaux de la nappe sur le versant Loir du bassin sont constitués par 3 cours d'eau, l'Aigle, la Conie et la Voise, dont les vallées entaillent le massif calcaire avec un drainage vers l'ouest. La coupe LI03 sur la vallée de la Conie met bien en évidence ce schéma de fonctionnement.

Le deuxième niveau aquifère, la craie, est secondaire. Il recueille une part vraisemblablement faible à modérée du débit de l'Eocène (par contact faillé, ou même par forages anciens ou mal exécutés perforant l'écran de l'Eocène détritique).

L'étendue du niveau de la craie à retenir va à l'ouest jusqu'au Loir et à l'est 1 à 2 km en-deçà de la zone de craie exploitée sous les calcaires.

L'importance des échanges entre ces deux aquifères sera estimée par calage du modèle mathématique des écoulements.

Conditions aux limites :

- . *pour les Calcaires de Beauce : limite à flux nul le long de la limite ouest des calcaires éocènes sur laquelle se surimposent trois conditions locales de débordement calées sur les niveaux des cours d'eau de l'Aigle, de la Conie et de la Voise.*
- . *pour l'aquifère de la Craie : potentiel imposé calé sur l'altitude de la ligne d'eau du Loir et limite à flux nul sous recouvrement (vers le centre du bassin).*
- . *entre calcaire et craie : condition semi-perméable simulant le rôle des argiles éocènes.*

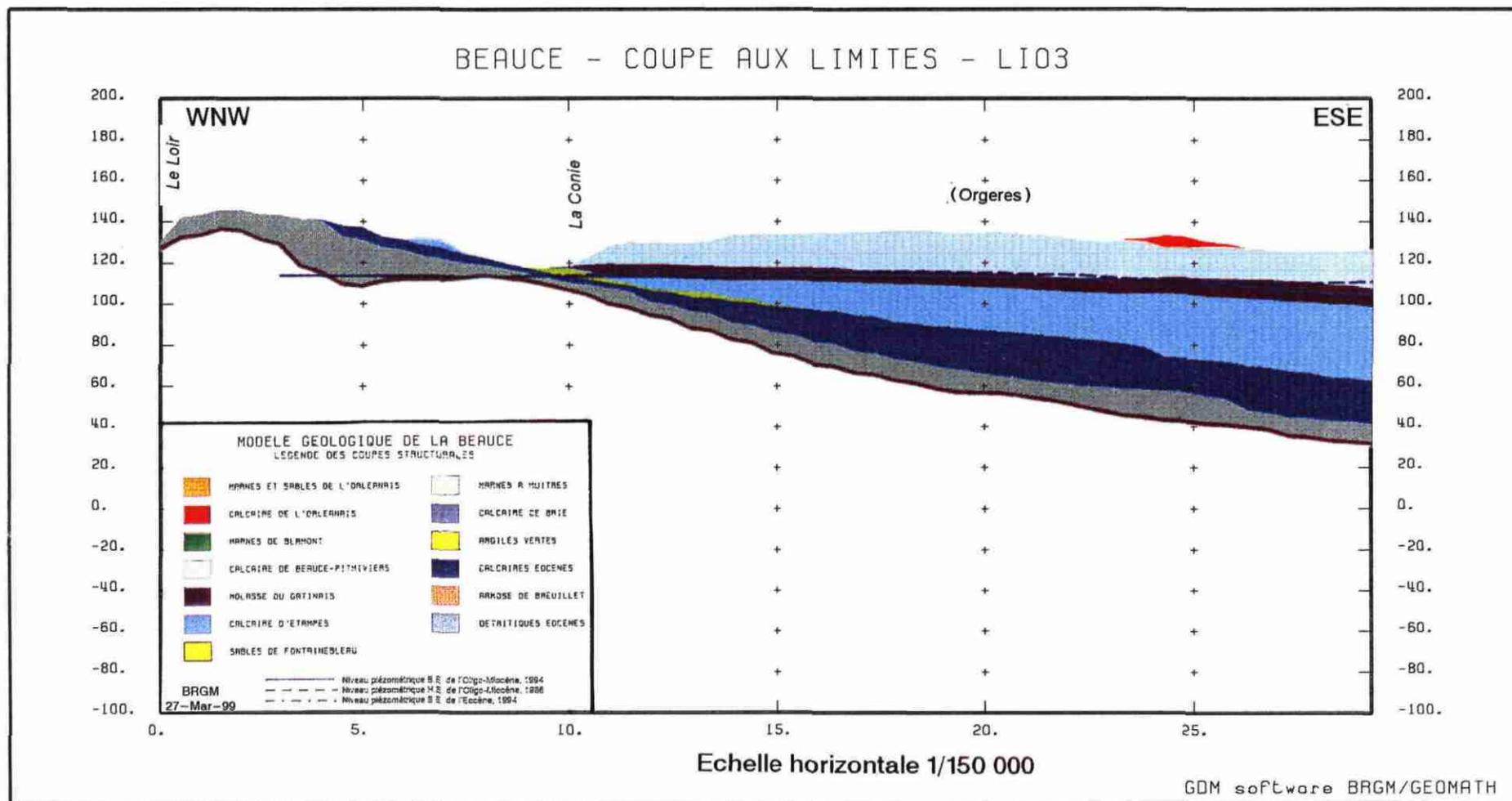


Fig. 3.3.p – Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI03.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1)

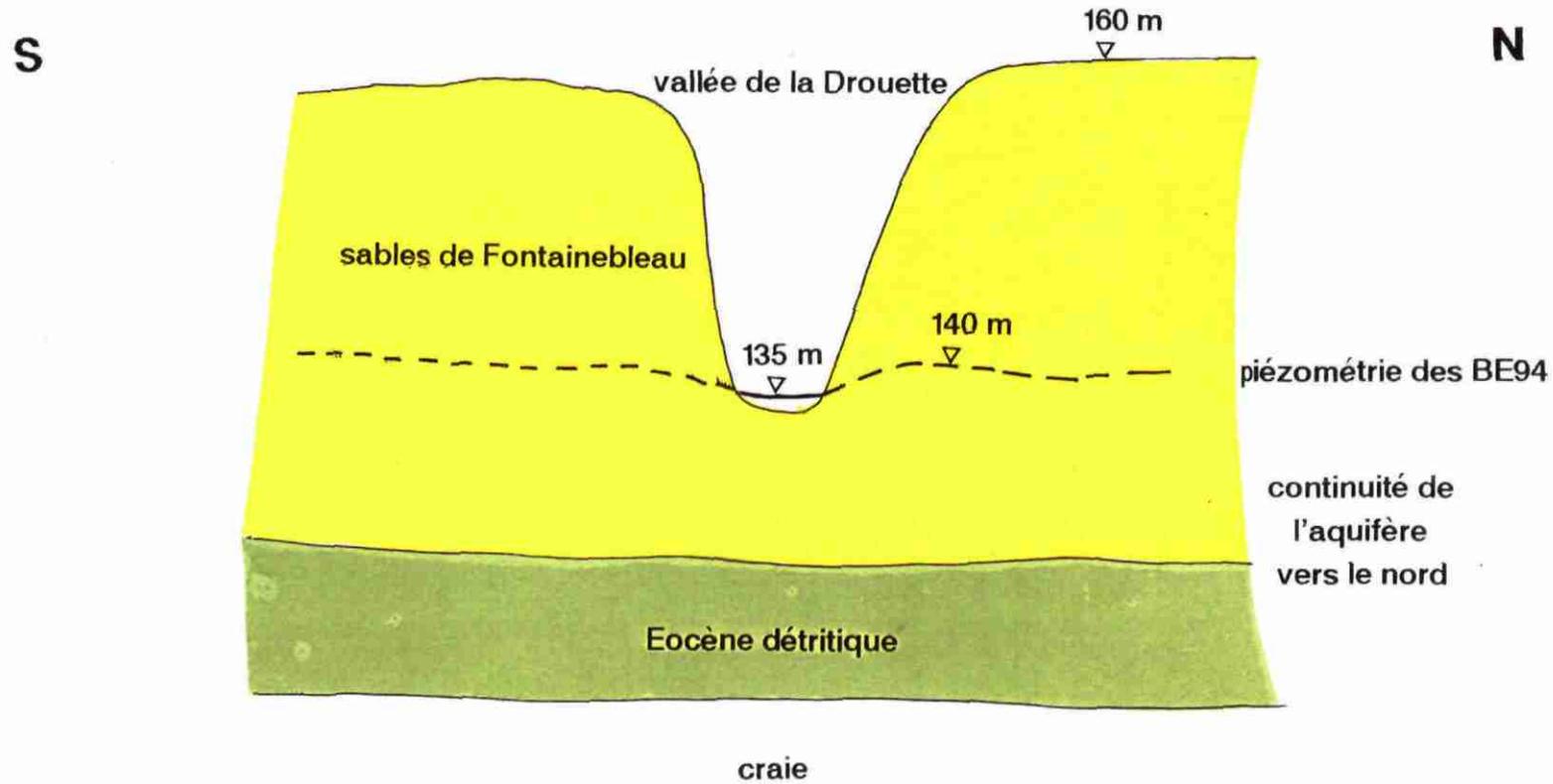


Fig. 3.3.h – Tronçon n° 7. Coupe géologique interprétative transversale à la vallée de la Drouette (à rapprocher de la coupe géologique NS01, fig. 1.3.1).

c) Au nord, le long des vallées de la Drouette et de la Remarde

Tronçon n° 7 (vallée de la Drouette)

[fig. 3.3.h suivante et coupe géologique NS01 (fig. 1.3.1.j) dans volume séparé]

La vallée de la Drouette est une vallée très encaissée. A proximité d'Emancé, la dénivelée entre le plateau, situé à l'altitude 160 m, et le cours d'eau, situé à l'altitude 130 m, est de 30 m pour une distance de moins de 200 m. La Drouette atteint et draine la nappe de Beauce comme le montre le schéma de la figure 3.3.g. Ce cours d'eau constitue donc une incision dont les conditions hydrauliques sont constantes.

Dans ce secteur, l'aquifère, constitué principalement des Sables de Fontainebleau, se prolonge à l'ouest, au nord et à l'est. La forme des isopièzes entre les vallées de la Drouette et de la Remarde (tronçon n° 8) présente un dôme à l'altitude de 145 m NGF (point le plus haut de la nappe) avec une alimentation directe (= par la pluie). Un dôme piézométrique n'étant pas une limite structurale, la limite hydrogéologique stable du bassin doit être recherchée au-delà de la zone d'étude initialement définie. Il sera nécessaire d'ouvrir le système plus au nord et d'appuyer les limites du modèle sur des conditions hydrauliques fixes.

En conséquence, nous proposons de réunir deux conditions pour bien restituer le comportement aux limites : ① une condition éloignée correspondant à des incisions complètes des Sables de Fontainebleau, dont l'aquifère se draine par déversement. Les incisions sont dues à quatre cours d'eau : à l'Ouest, le tiers aval de la Drouette (sur 10 km avant son confluent, vers Epernon), au NW la Vesgre (autour de Condé sur Vesgre), au N la Guyonne à Montfort l'Amaury et à l'Est l'Yvette vers Saint-Rémy-les-Chevreuse ; ② une condition rapprochée, consistant à imposer un flux rentrant (recharge par la surface du sol) au droit du dôme piézométrique. La valeur de la recharge sera déterminée lors de l'étude spécifique de la recharge de la nappe et validée par le modèle. La condition de type ① est d'origine géologique, donc géométriquement stable : c'est la limite vraie du système.

Conditions aux limites : flux imposé (recharge) au droit du dôme piézométrique de la Drouette et limite éloignée à déversement au droit de la Drouette (cours inférieur) de la Vesgre, de la Guyonne et de l'Yvette.

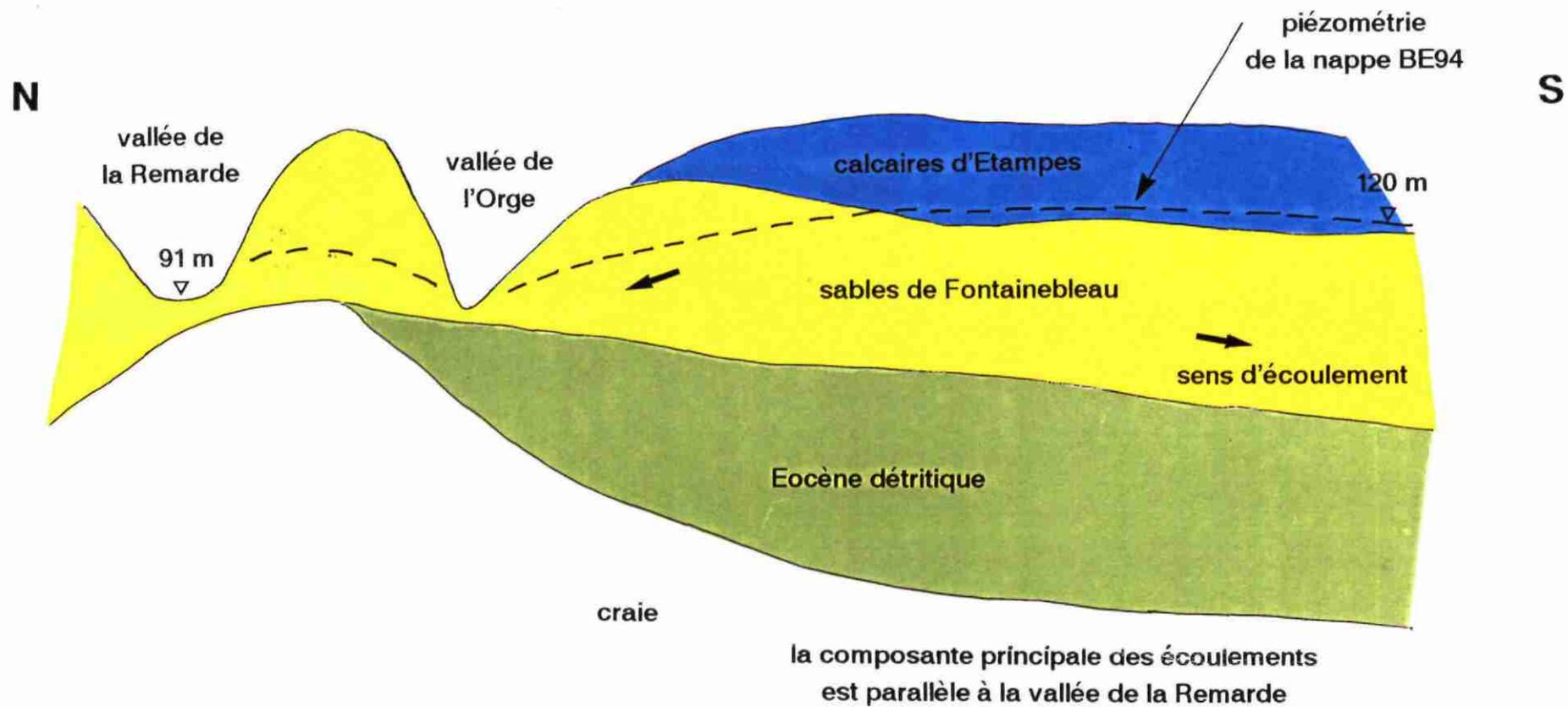


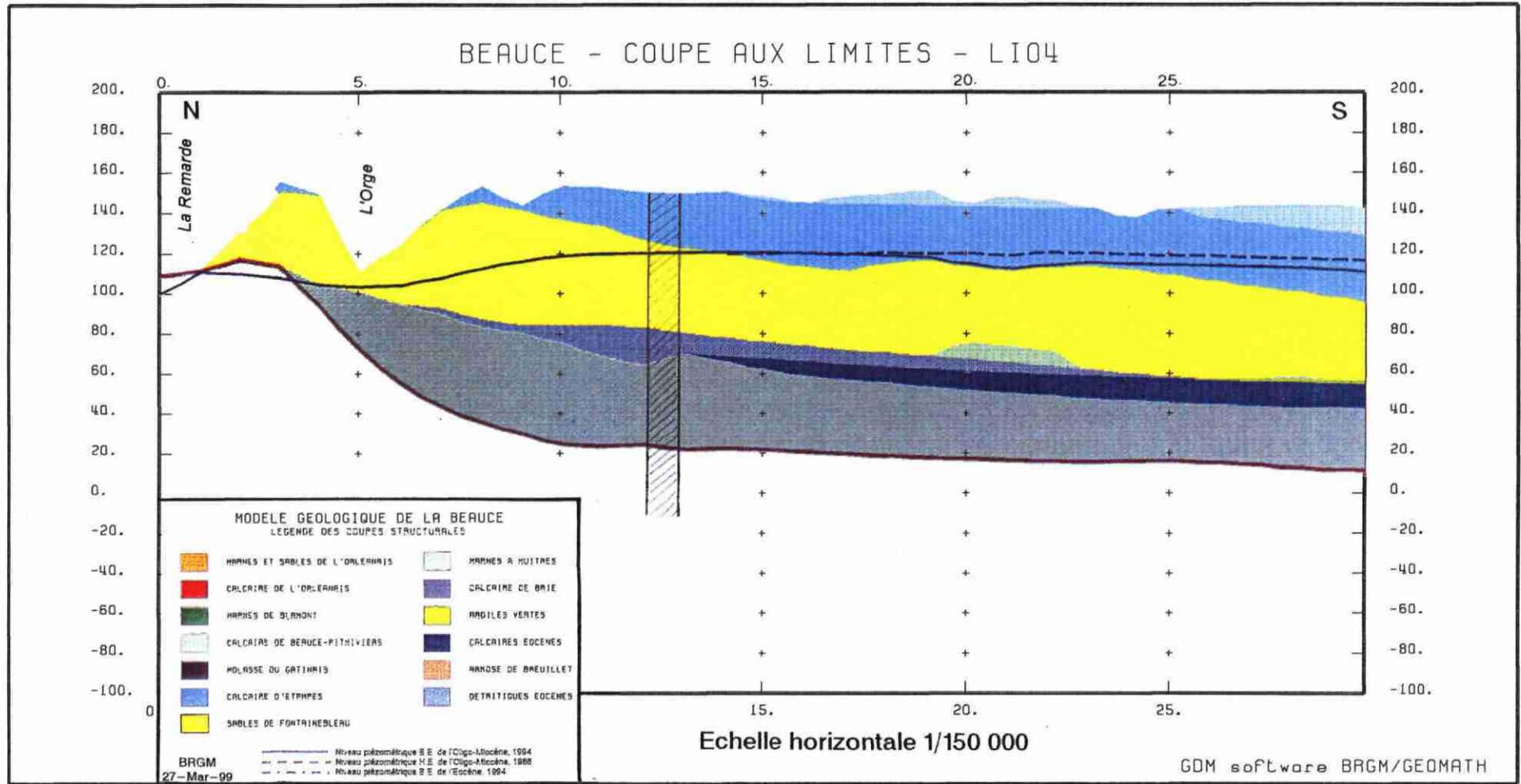
Fig. 3.3.i – Tronçon n° 8. Coupe schématique interprétative transversale à la vallée de la Remarde (à rapprocher de la coupe géologique LI04, fig. 3.3.p).

Tronçon n° 8 (vallée de la Remarde)

(fig. 3.3.i et coupe géologique LI04, fig. 3.3.q)

La formation du Calcaire d'Etampes s'interrompt au niveau du cours d'eau de la Remarde. Il ne reste sur ces limites que la formation des Sables de Fontainebleau. La piézométrie des basses eaux de 1994 indique qu'on est encore à proximité du point le plus haut de la nappe. Le long du cours d'eau de la Remarde, les écoulements sont orientés vers l'est, parallèlement à cette rivière. Les échanges entre la nappe et la Remarde sont probablement peu importants.

Conditions aux limites : cote de débordement le long des vallées de la Remarde puis de l'Orge jusqu'à la Seine.



**Fig. 3.3.q – Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI04.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1)**

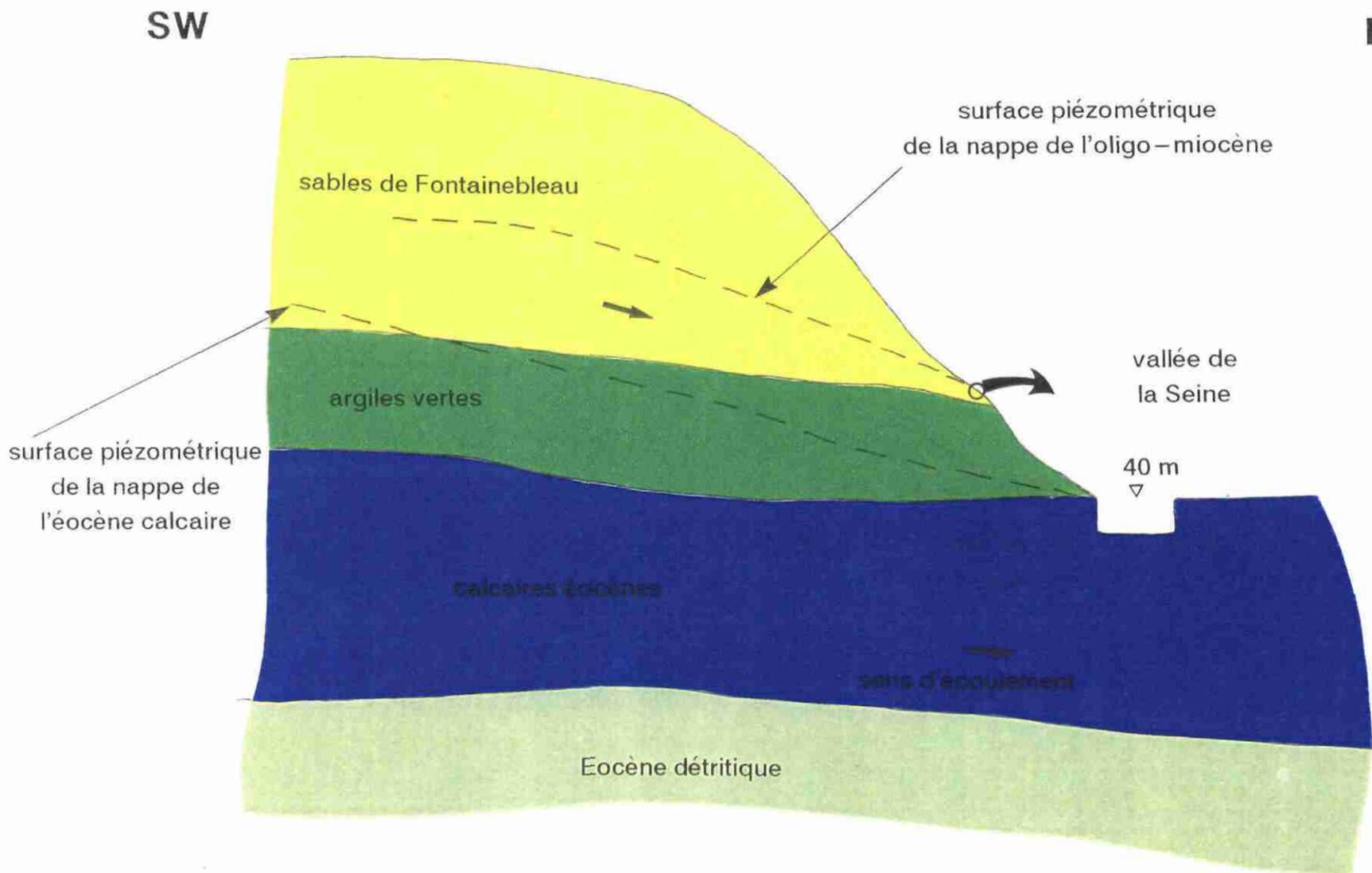


Fig. 3.3.j – Tronçon n° 9. Coupe schématique interprétative transversale à la vallée de la Seine (à rapprocher de la coupe géologique LI05, fig. 2.2.q).

d) Au nord-est, sur les Sables de Fontainebleau et les calcaires de l'éocène

Tronçon n° 9 (vallée de la Seine)

[fig. 3.3.j et coupe géologique LI05 (fig. 3.3.r) suivantes]

Cette zone suit la vallée de la Seine, puis la vallée du Loing jusqu'au Sud de Nemours. Sur cette partie nord-est du bassin, l'aquifère de la Beauce est constitué de deux niveaux perméables séparés par le niveau imperméable des Argiles vertes. Les formations perméables sont les Sables de Fontainebleau, les Calcaires de Brie et les calcaires de l'Eocène.

On est en présence de deux nappes distinctes :

- la nappe des Sables de Fontainebleau et des Calcaires de Brie est une nappe libre, drainée par les affluents de la Seine ; les écoulements en nappe et les cours d'eau affluents de la Seine sont sensiblement parallèles. On observe une ligne de sources au contact des Calcaires de Brie et des Argiles vertes ;
- la nappe de l'Eocène est captive ; son épaisseur atteint 60 m au droit de la Seine. Cette nappe est drainée par la Seine dont la vallée incise les Calcaires éocènes ainsi que celle du Loing aux alentours de Nemours.

Conditions aux limites :

- *nappe supérieure de l'oligo-miocène : cote de débordement le long des vallées et le long du contact des Calcaires de Brie avec les Argiles vertes ;*
- *nappe inférieure de l'Eocène : potentiel imposé égal à la ligne d'eau de la Seine puis à celle du Loing.*

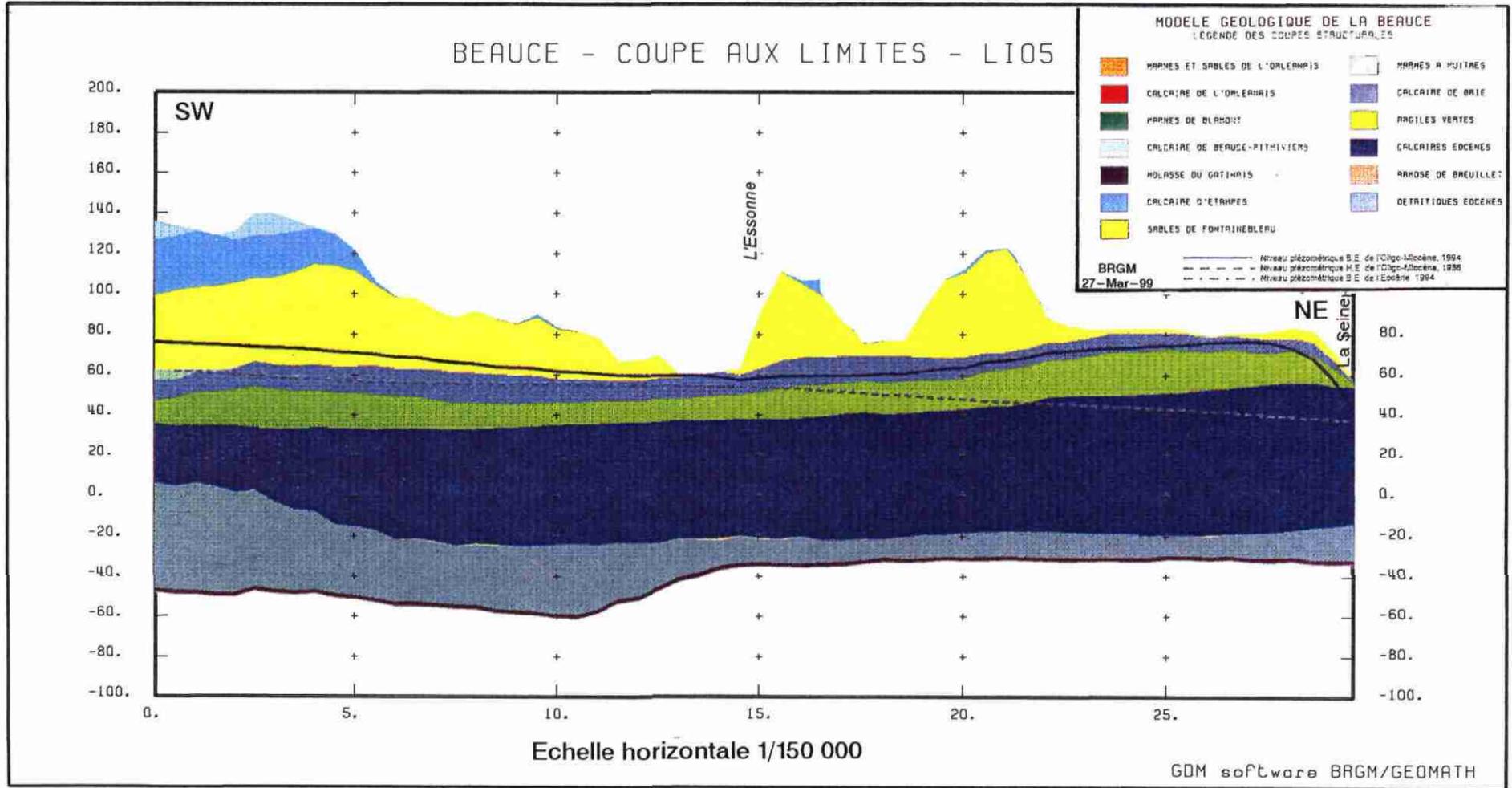


Fig. 3.3.r – Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI05.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1)

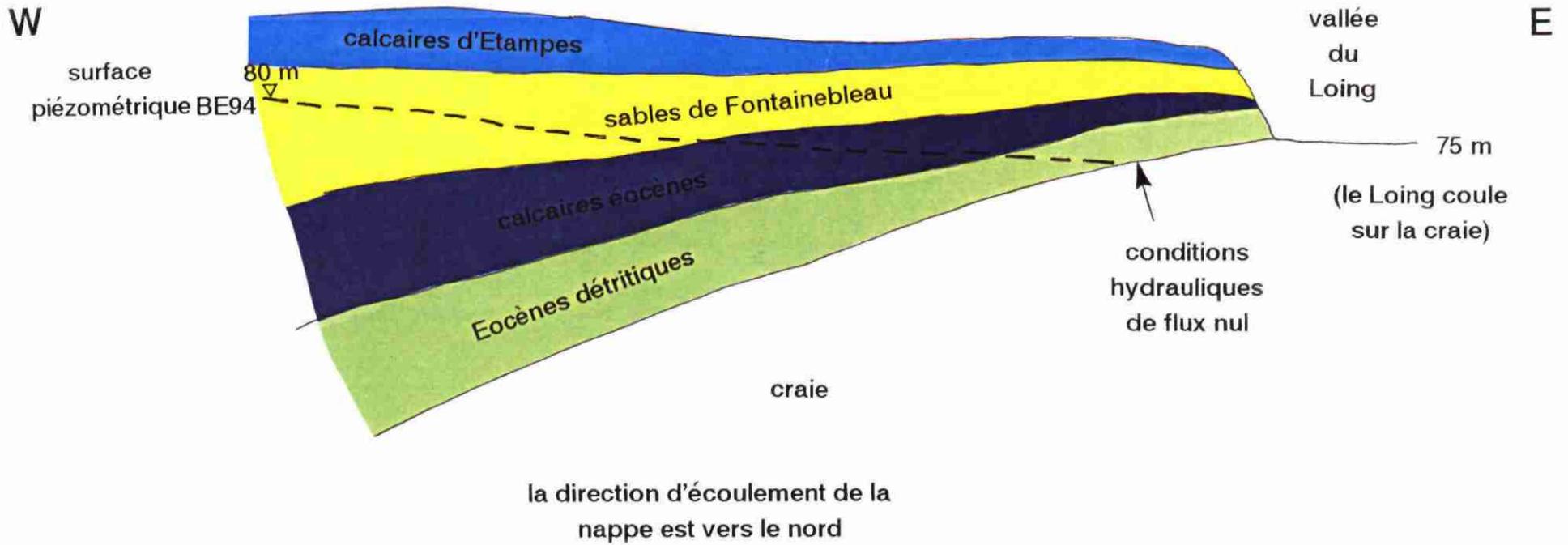


Fig. 3.3.k – Tronçon n° 10. Coupe schématique interprétative transversale à la vallée du Loing au Nord de Montargis (à rapprocher de la coupe géologique LI06, fig. 3.3.r).

e) A l'est, le long de la vallée du Loing

Tronçon n° 10 (vallée du Loing)

[fig. 3.3.k et coupe géologique LI06 (fig. 3.3s) suivantes.]

Sur la partie est du bassin, l'épaisseur cumulée des aquifères diminue rapidement d'ouest en est. Cette épaisseur, qui est de 200 m au centre du bassin, n'est plus que de 30 m à proximité de la vallée du Loing et s'annule totalement au droit du Loing, au Nord de Montargis, qui coule directement sur les argiles à silex et la craie.

Entre Nemours et Montargis, la carte piézométrique des basses eaux de 1994 montre un écoulement en direction du nord-est qui correspond au drainage de la nappe par la vallée du Loing au niveau du tronçon précédent (n° 9) et par les cours d'eau du Fusain et du Huillard. Par contre les écoulements directs entre la nappe et la vallée ne semblent pas exister en raison de la remontée du substratum.

Conditions aux limites : limites à flux nul coïncidant avec la vallée du Loing et cote de débordement sur la partie aval des vallées du Fusain et du Huillard.

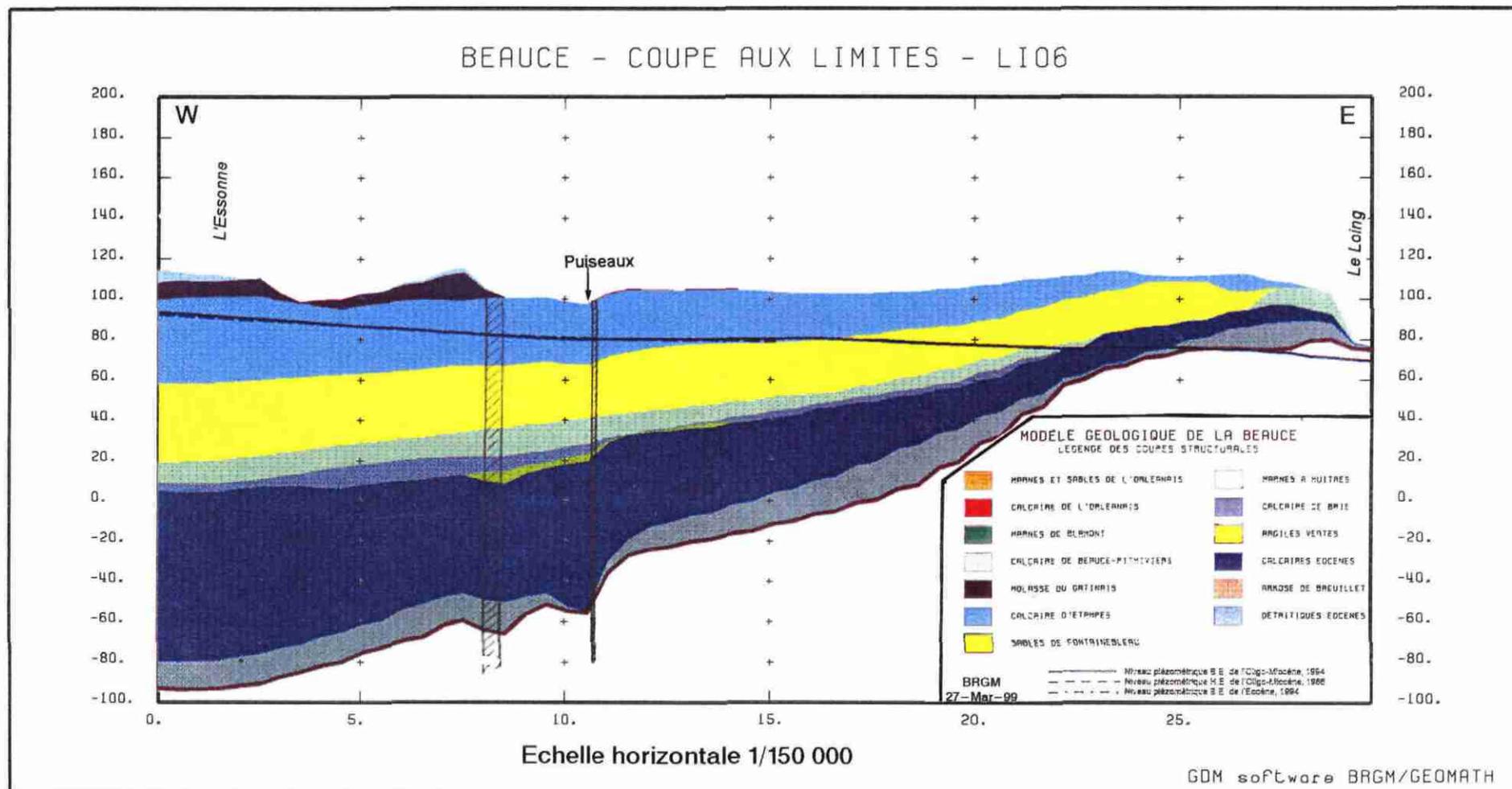


Fig. 3.3.s – Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI06.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1)

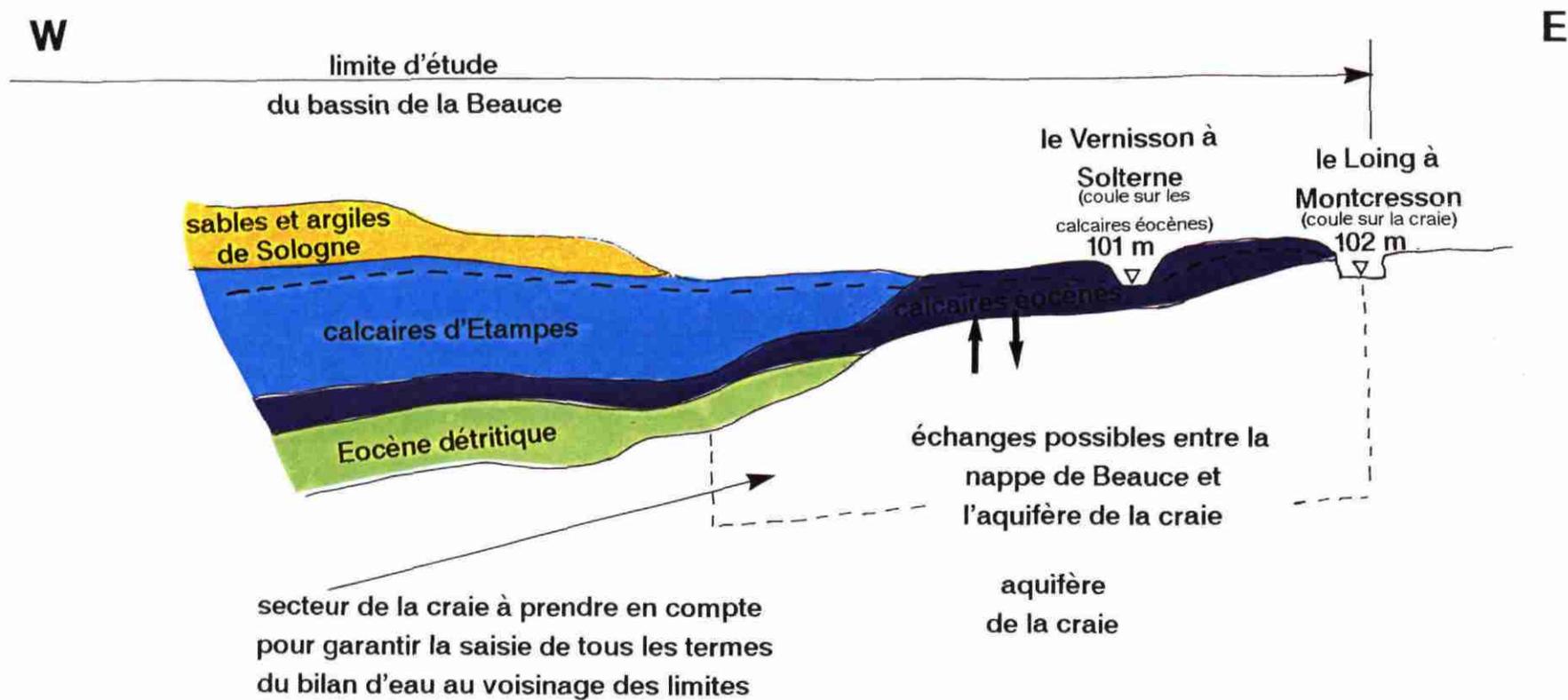


Fig. 3.3.1 – Tronçon n° 11. Coupe schématique interprétative transversale à la vallée du Vernisson en partie aval (à rapprocher de la coupe géologique LI07, fig. 3.3.S).

f) Le long de la vallée du Vernisson

Le secteur compris entre les villes de Montargis et Gien, le long de la vallée du Vernisson, est décrit par les coupes LI07-Montargis et LI08-Sully-Gien. Le Vernisson coule dans sa partie aval sur les Calcaires d'Etampes et les Calcaires éocènes qui présentent une faible épaisseur de 15 à 20 m. La partie amont du Vernisson coule sur les formations imperméables de l'Eocène détritique et des formations de Sologne ; elle est isolée de la nappe de Beauce. On distingue ainsi deux tronçons totalement différents.

Tronçon n° 11 (vallée du Vernisson partie aval)

[fig. 3.3.1 suivante et coupe géologique LI06 (fig. 3.3.s)].

La direction principale d'écoulement de la nappe, située à cet endroit dans les Calcaires d'Etampes, est orientée vers le nord. Elle s'infléchit localement vers le Vernisson qui d'abord accompagne puis draine la nappe. Comme l'indique la coupe géologique LI06, les Calcaires d'Etampes sont directement en contact avec les niveaux de la craie sous-jacente, et s'étendent jusqu'au Loing qui coule sur la craie. Le Vernisson est régulièrement asséché, et ne peut pas représenter une limite hydraulique fixe pour l'étude du système Beauce. Il est donc nécessaire d'étendre le domaine d'étude jusqu'au Loing, et de prendre en compte, sur cette bordure est de la nappe de Beauce, l'ensemble des niveaux calcaires et ceux de la craie directement en communication.

Conditions aux limites : potentiel imposé à l'altitude de la ligne d'eau du Loing. Les cours d'eau, tels le Vernisson, imposent une cote de débordement.

WNW

ESE

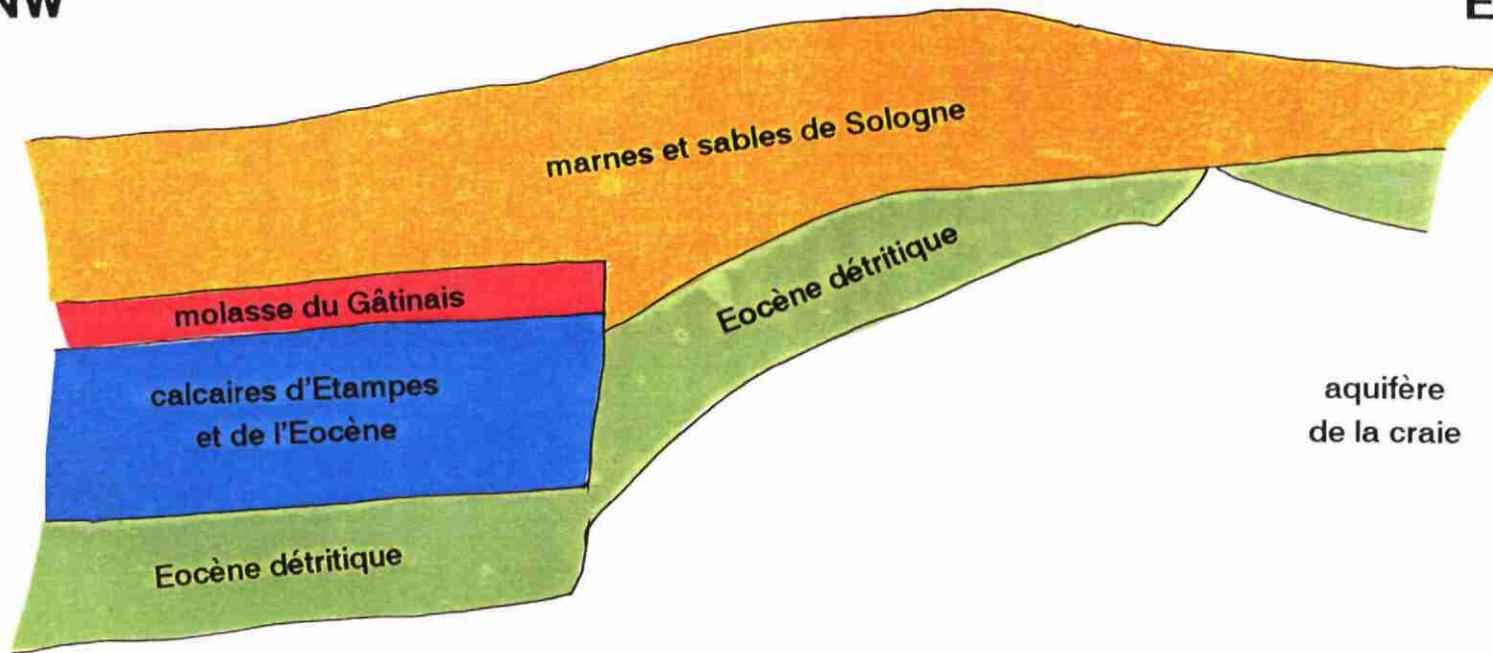


Fig. 3.3.m – Tronçon n° 12. Coupe schématisque interprétative transversale à la vallée du Vernisson en partie amont (à rapprocher de la coupe géologique LI08, fig. 3.3.t).

Tronçon n° 12 (vallée du Vernisson partie amont)

[fig. 3.3m et coupe géologique LI07 et LI08 (fig. 3.3t et 3.3u) suivantes].

Sur ce tronçon, le Vernisson coule sur les formations imperméables : l'éocène détritique puis les marnes et sables de Sologne. En bordure est, la remontée brutale de l'éocène détritique limite l'extension latérale des Calcaires de Beauce et crée une limite imperméable.

En bordure sud-est du bassin, la remontée brutale de la craie à l'occasion du jeu de failles du horst de Nogent-sur-Vernisson interrompt complètement l'aquifère de Beauce. La craie n'étant pas imperméable, deux hypothèses sont possibles : les failles sont étanches et les communications hydrauliques avec la craie sont inexistantes ou très faibles, ou bien la craie est perméable et il y a communication : la nappe de Beauce échange latéralement avec la craie. Seule une simulation mathématique des écoulements devrait permettre de répondre à cette question.

Conditions aux limites :

1^{ère} hypothèse : nous proposons de retenir un niveau additif appartenant à la craie sous-jacente, délimité comme suit :

- à l'est, le Loing impose un potentiel,

- à l'ouest, on prolonge ce niveau de 5 km en deçà de la limite d'extension des calcaires éocènes et l'on applique une condition de flux nul.

Limite à potentiel au-delà de la zone d'étude fixée au droit du canal de Briare et du Loing ;

2^{ème} hypothèse : limite à flux nul au droit du horst de Nogent sur Vernisson.

Nous recommandons, dans un premier temps, de considérer la craie perméable et la communication latérale possible avec les Calcaires d'Etampes. La condition en limite est alors repoussée à l'est (1^{ère} hypothèse).

La modélisation aidera à retenir l'une ou l'autre hypothèse. En tout état de cause, la limite ne doit pas être recherchée au niveau de la crête piézométrique, par nature mobile.

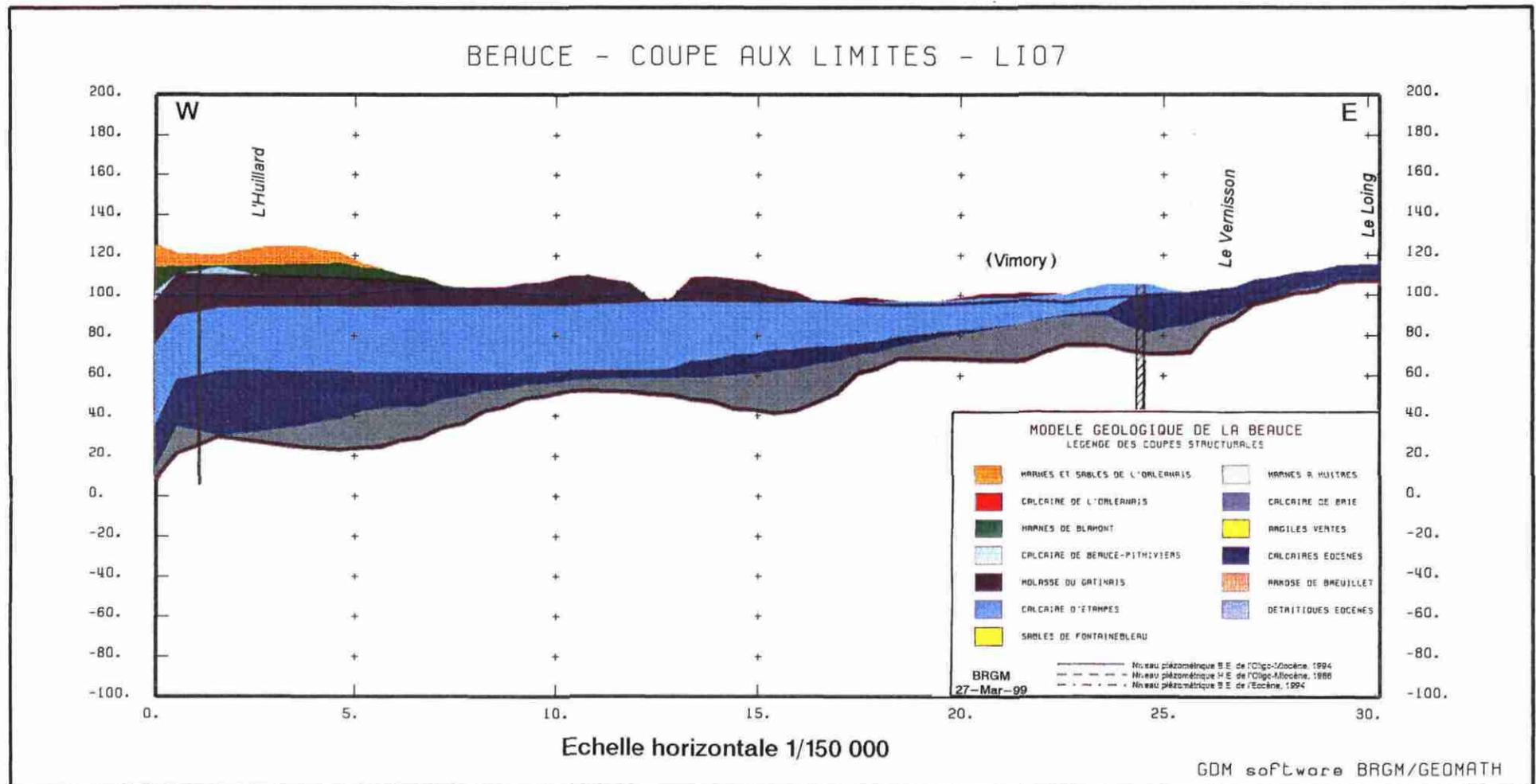


Fig. 3.3.t – Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI07.
 (la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1)

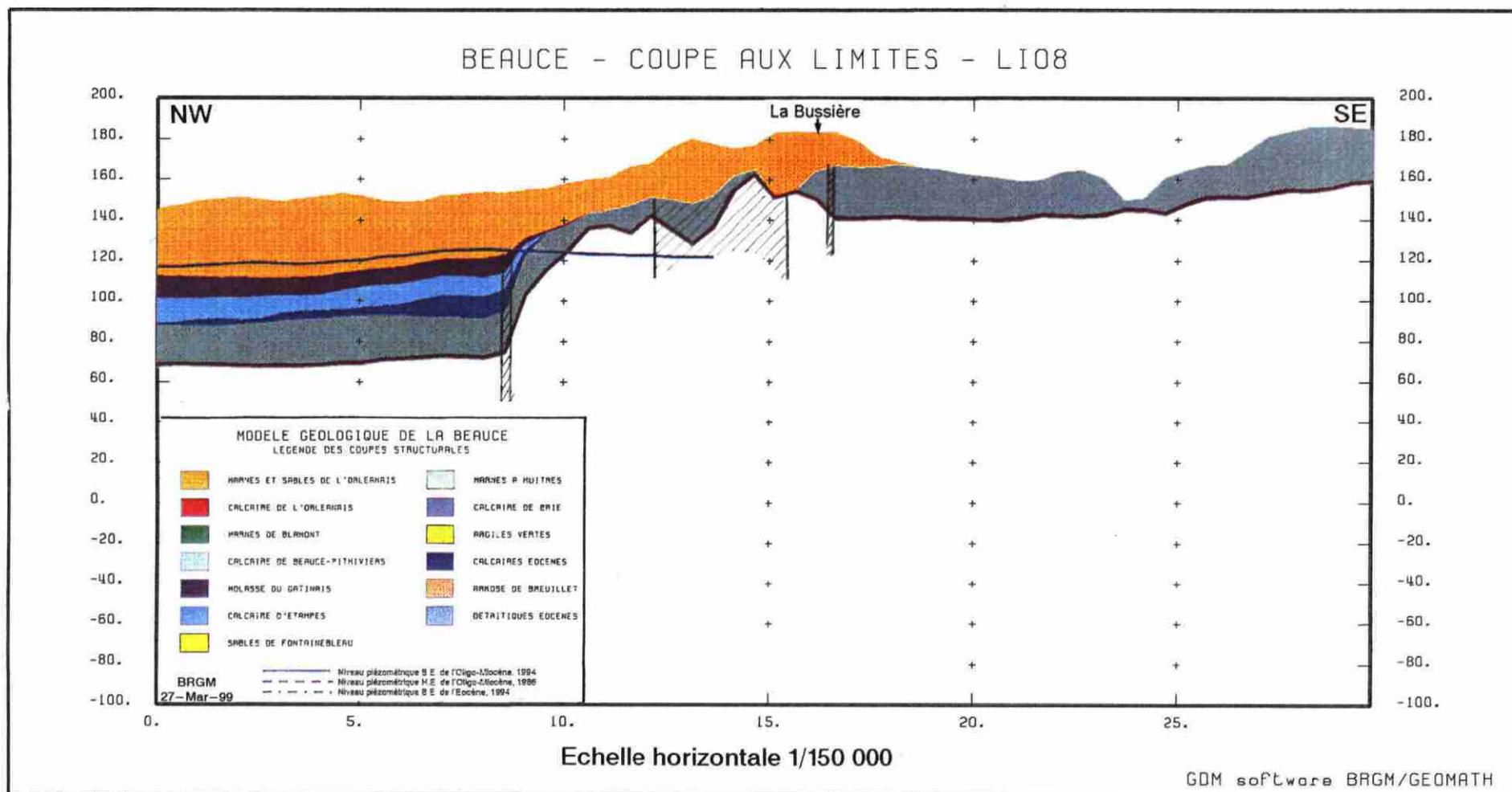


Fig. 3.3.u – Coupe hydrologique radiale en bordure de bassin LI08.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1)

3.4. LES LIMITES DE L'AQUIFERE GENERAL DE BEAUCE (voir tabl. 5)

Nous proposons une extension du domaine d'étude qui prend en compte une frange de l'aquifère de la craie dans la vallée du Loir à l'ouest du bassin, et le triangle Montargis-Briare-Gien à l'est. Cette modification permettra de rendre compte de façon plus réaliste de tous les termes du bilan d'eau aux limites.

Deux autres révisions mineures des limites effectives sont proposées selon les conclusions de l'étude qui précède (§ 3.3) et sont indiquées sur la figure 3.4.

a) Au sud, le long de la Loire

Nous proposons de retenir comme limite le tracé du cours de la Loire entre Briare-Gien et Blois, avec une extension en rive gauche entre Gien et Châteauneuf-sur-Loire (tronçon n° 2). Au SW, l'extension du bassin est interrompue par la remontée de l'Eocène détritique entre les vallées de la Loire et du Loir.

b) A l'ouest, en rive gauche du Loir

Du sud vers le nord, nous proposons d'étendre le domaine d'étude initial jusqu'au Loir en prenant en compte un niveau de craie sous-jacent, en contact avec les calcaires de Beauce. La limite est alors tracée sur la vallée du Loir.

c) Au nord, le long de la vallée de la Drouette et de la Remarde

On arrête le domaine d'étude au nord de la vallée de la Drouette, au droit de quatre vallées dans lesquelles l'aquifère des Sables de Fontainebleau se déverse en totalité : la Drouette aval, la Vesgre, la Guyonne et l'Yvette.

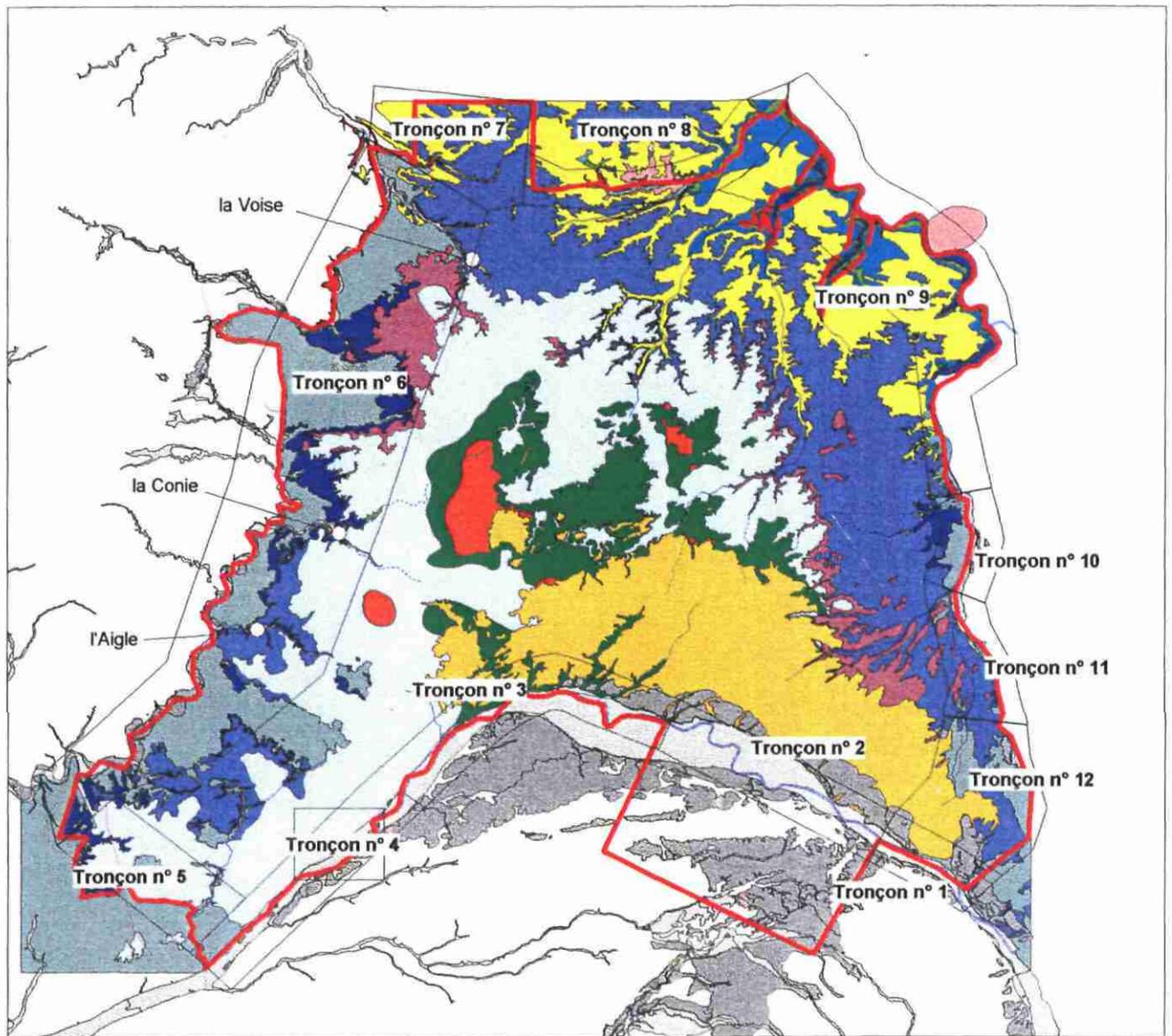
Plus à l'est, le domaine d'étude est doublement limité par la vallée de la Remarde puis celle de l'Orge jusqu'à la Seine.

d) Au nord-est, sur les Sables de Fontainebleau et les calcaires de l'éocène

Les limites de l'étude doivent suivre le tracé de la Seine, puis celui du Loing jusqu'au sud de Nemours.

N° du tronçon	Localisation	Comportement de la nappe	Conditions hydrauliques aux limites
1	Tronçon de Gien	Les Calcaires d'Etampes sont en communication avec les alluvions de la Loire. Les échanges Loire-nappe de Beauce sont possibles au travers des alluvions.	Potentiel imposé : ligne d'eau de la Loire.
2	Tronçon Gien – Châteauneuf-sur-Loire	La Molasse du Gâtinais isole la Loire de la nappe. La nappe de Beauce s'étend en rive gauche de la Loire.	Flux nul le long d'une ligne positionnée en rive gauche de la Loire.
3	Tronçon Châteauneuf-sur-Loire et Blois	Le lit de la Loire incise les Calcaires de Pithiviers. La Loire draine aisément la nappe de Beauce sur tout le long de ce tronçon.	Potentiel imposé : ligne d'eau de la Loire sur tout le parcours.
4	Val d'Avaray	Sur ce tronçon de 15 km de long, la Loire draine la nappe. Cet exutoire principal se double d'un exutoire "facultatif" (débordement) constitué d'une ligne de sources à flanc de coteau.	Potentiel imposé : ligne d'eau de la Loire et cote de débordement au niveau des sources situées à flanc de coteau.
5	Limite entre Loire et Loir	L'aquifère se ferme au niveau de Blois par la remontée de l'Eocène détritique entre la vallée de la Loire et la vallée du Loir.	Limite à flux nul confondue avec la limite d'affleurement des calcaires entre la Loire et le Loir et potentiel imposé pour la craie. Cote de débordement le long de la vallée de la Cisse, fixée à l'altitude du sol dans le thalweg.
6	Vallée du Loir	Sur toute la partie ouest du domaine, la remontée du substratum et de l'Eocène détritique interdisent les écoulements directs vers le bassin du Loir, excepté par les vallées qui entaillent le massif calcaire. Toutefois des échanges sont possibles entre la nappe de Beauce et l'aquifère de la craie sous-jacente. Pour en rendre compte, on préconise d'étendre le domaine d'étude jusqu'au Loir qui est une limite hydraulique fixe.	<ul style="list-style-type: none"> . pour les niveaux calcaires : flux nul au droit de la terminaison ouest des calcaires et cote de débordement dans les vallées de l'Aigle, de la Conie et de la Voise ; . pour la craie : potentiel imposé au droit du Loir.
7	Vallée de la Drouette	La vallée de la Drouette draine la nappe de Beauce (situation de 1994). Entre la Drouette et la Remarde, le système est ouvert vers le nord du bassin avec une continuité hydraulique dans les Sables de Fontainebleau.	Zone à flux imposé (recharge) au droit du dôme piézométrique. Cotes de déversement au droit de la Drouette, de la Vesgre, de la Guyonne et de l'Yvette hors zone d'étude.
8	Vallée de la Remarde	La remontée du substratum limite l'extension de la nappe au nord de la Remarde. Nappe et Remarde coulent parallèlement.	Limite à cote de débordement le long de la Remarde et de la partie aval de l'Orge.
9	Vallée de la Seine	Dans cette zone, le système Beauce comprend deux niveaux aquifères séparés par le niveau imperméable des Argiles vertes. Les limites hydrauliques de ces deux niveaux sont différentes. Pour la partie supérieure (nappe de l'oligo-miocène) ce sera le contact Brie sur Argiles vertes, pour la partie inférieure ce sera la Seine qui coule sur l'Eocène.	Limite à cote de débordement pour le niveau oligo-miocène sur le contact Brie sur Argiles vertes. Potentiel imposé (ligne d'eau de la Seine) pour le niveau éocène.
10	Vallée du Loing	Entre Nemours et Montargis, la remontée du substratum vers l'est du bassin interdit les échanges latéraux entre la nappe et la vallée du Loing.	Flux nul et cote de débordement le long des cours d'eau du Fusain et du Huillard.
11	Vallée du Vernisson aval	La limite hydraulique est de ce secteur est représentée par la vallée du Loing qui coule sur la craie en extrême limite d'extension des calcaires éocènes. Entre le Vernisson et le Loing les calcaires éocènes, via les argiles à silex, peuvent être en communication hydraulique avec la craie.	Potentiel imposé : ligne d'eau du Loing.
12	Vallée du Vernisson amont	Sur son cours amont, le Vernisson coule sur les niveaux imperméables des marnes et sables de Sologne. La partie aquifère est captive sous les formations imperméables et limitée par la remontée du substratum à l'est (éocène détritique). Hypothèse 1 : communication latérale des Calcaires d'Etampes avec la craie et limite hydraulique repoussée à l'Est hors zone d'étude. Hypothèse 2 : failles écran, jouant le rôle de limite étanche.	Hypothèse 1 : limite à potentiel imposée par le Loing et le Canal de Briare au sein de la craie, hors zone d'étude. Hypothèse 2 : flux nul dans la zone d'étude, au droit des failles.

Tabl. 5 - Récapitulatif des limites et des conditions aux limites de l'étude de la nappe de Beauce



LÉGENDE LITHO-STRATIGRAPHIQUE



Fig. 3.4 – Contour révisé de la zone d'étude du système hydraulique de Beauce.

e) A l'est, le long de la vallée du Loing et du Vernisson

Les limites hydrauliques suivent les limites d'extension soit des Calcaires d'Etampes, soit des calcaires éocènes jusqu'à Montargis. De Montargis à Gien, les limites devraient suivre la vallée du Loing, puis le canal de Briare jusqu'à la Loire.

3.5. LIMITES INTERNES

a) Les surfaces de contact entre les niveaux de l'aquifère

Le modèle géométrique a permis de délimiter les surfaces de contact par lesquelles les grands ensembles peuvent être mis en communication. Elles peuvent avoir deux origines :

- des discontinuités au sein des formations imperméables ;
- des contacts verticaux entre niveaux aquifères superposés à la faveur des discordances angulaires entre formations ou corps sédimentaires.

Nous avons retenu 6 unités lithostratigraphiques considérées comme perméables : l'Arkose de Breuillet, les calcaires éocènes, le calcaire de Brie, les Sables de Fontainebleau, le Calcaire d'Etampes et le Calcaire de Pithiviers. Pour chacune, nous avons considéré les communications possibles au toit de l'unité (fig. 3.5.a). L'intérêt de cette démarche apparaît essentiellement pour 4 d'entre elles.

L'Arkose de Breuillet est essentiellement au contact des calcaires éocènes sus-jacents ; une communication locale avec le Calcaire de Brie est toutefois possible entre Juine et Orge.

Le cas le plus intéressant est celui des calcaires éocènes. Nous avons montré plus haut le contact discordant des formations oligo-miocènes avec l'Eocène. Cet effet se retrouve illustré par le lien que les calcaires éocènes assurent entre le Calcaire de Brie, les Sables de Fontainebleau au N, le Calcaire d'Etampes au S, et le Calcaire de Pithiviers au SW (fig. 3.5.b).

Le Calcaire de Brie n'est séparé des Sables de Fontainebleau que par une couverture discontinue de Marnes à huîtres. En limite d'existence des Sables de Fontainebleau, au SE, une communication très locale avec le Calcaire d'Etampes est possible (fig. 3.5.c)

Les Sables de Fontainebleau communiquent uniquement vers le haut avec le calcaire d'Etampes, sur toute la surface où ce dernier les recouvre.

Le Calcaire d'Etampes est en relation avec le Calcaire de Pithiviers par les "trous" de la Molasse du Gâtinais, en particulier dans la zone centrale du domaine lacustre (fig. 3.5.d).

b) Les communications avec la craie

Les communications directes avec la craie peuvent exister à la faveur des accidents structuraux. Elles concernent les Sables de Fontainebleau et le Calcaire d'Etampes au NE dans la vallée de la Voise, l'Arkose de Breuillet au NE, qui se développe aux dépens des autres niveaux détritiques éocènes, les calcaires éocènes en quelques points, en particulier dans les structures de Beaune-la-Rolande.

Les principaux accidents qui peuvent mettre en communication la craie avec l'aquifère de la Beauce sont : les dômes de Marchenoir et d'Ouzouer au sud-ouest du bassin, le secteur des failles de Beaune-la-Rolande et du horst de Nogent-sur-Vernisson au sud-est et la faille de Sennely qui présente un rejet de 60 m au centre du bassin et met en vis-à-vis la craie et les calcaires éocènes.

En l'absence de preuves formelles des communications hydrauliques avec la craie, on préconise une extension du domaine d'étude de la nappe de Beauce en prenant en compte une partie de l'aquifère de la craie dans la vallée du Loir et dans le triangle Montargis-Briare-Gien. La prise en compte des niveaux de la craie sur la périphérie de la Beauce garantit la saisie de tous les termes du bilan d'eau au voisinage des limites.

4. Conclusion générale

En prévision de la mise en œuvre de moyens de gestion actualisés pour la ressource en eau souterraine de la Beauce, le Service Géologique National (BRGM) a revu, de manière approfondie, le schéma stratigraphique du bassin. Cette révision a conduit à des observations innovantes concernant l'extension de certains horizons et les manifestations des failles. Ce travail a abouti à mettre en place un modèle piézométrique 3D calé à la base et au sommet par deux niveaux connus avec précision. Pour chaque horizon géologique, des limites d'extension valides, cohérentes ont été tracées, en accord avec les sondages.

Le schéma a servi de canevas à une analyse hydrogéologique fine qui a permis de caractériser les importances hydrogéologiques respectives des différents niveaux aquifères.

La délimitation de la partie étudiée coïncide avec des limites naturelles qui imposent sur 80 % du pourtour du bassin des conditions à potentiel constant ou, au minimum, des conditions de débordement. 20 % des limites sont géologiques, structurales ou topographiques. Elles ont été interprétées et des options ont été prises pour caractériser leur rôle hydrogéologique.

Les éléments analytiques relatifs aux niveaux aquifères qui ont été recensés sont rappelés dans le tableau suivant qui conduit, selon des critères implicites, à un indice d'hydraulicité des cinq principaux aquifères.

Formations aquifères	Extension		Puissance	Perméabilité Estimée	Indice d'hydraulicité 1 à 4*
	% bassin	Secteur			
Calcaire de Pithiviers	40	C + S + SW	20 m	Forte à très forte (karstifié)	4
Calcaire d'Etampes	80	Manque au NE et sur la bordure W	30 m	Forte à très forte (karstique)	4
Sables de Fontainebleau	40	N + NE	30 m	Faible	1
Calcaire de Brie	35	NE	15 m	Moyenne	2
Calcaires éocènes	10 à 20 m à l'W Supérieur à 50 à l'E	Manque au NW	W : 20 m E : 60 m	Moyenne	3

Tabl. 6 – Eléments analytiques relatifs aux niveaux aquifères.

* Potentiel hydrogéologique élevé : indice 4 ; potentiel hydrogéologique faible : indice 1

Le cadre de la convention fixé par l'agence de l'Eau ne prévoyait pas d'aborder à ce stade les conditions de fonctionnement des nappes : intensité de la recharge, des drainances, débits aux exutoires et prélèvements.

Il peut être utile de rappeler que la révision qui vient d'être entreprise sera à compléter de deux types de validations qui font appel aux conditions de fonctionnement.

La première validation concerne la cohérence entre les caractéristiques hydrodynamiques proposées et le constat d'état des nappes que révèle la piézométrie. Seul un modèle permettra cette validation.

La deuxième vérification concerne le mode de fonctionnement hydrogéologique général du bassin. Ramené à sa juste proportion, le bassin que nous avons pris l'habitude de représenter à l'aide de coupes dessinées sur lesquelles l'échelle des hauteurs est amplifiée d'un facteur X 50, est en réalité extrêmement mince. Il n'est pas exclu que des sollicitations fortes de la nappe provoquent localement des différenciations de zones d'influence qui peuvent s'individualiser au sein du système sans propagation des influences au-delà de cette zone.

Des limites d'une telle nature sont conjoncturelles, probablement instables dans le temps et ne pourront être étudiées qu'à partir des états dynamiques de la nappe générale.

5. Bibliographie

- BRGM (1980) - Synthèse du bassin de Paris, publiée sous la direction de C. Mégnien, en 3 vol. *Mémoires du BRGM*, n° 101, 102, 103.
- Caudron M., Desprez N., Martins Cl., Rampon G. (1973) - Mise en valeur et exploitation des données acquises sur la nappe des Calcaires de Beauce en vue de la réalisation d'un modèle mathématique de simulation en régime transitoire. Rap. BRGM 73 SGN 365 BDP, 30 p., 6 pl., 5 ann.
- Caudron M., Desprez N., Martins Cl., Rampon G., Vandenbeusch M. (1975) - Elaboration et exploitation d'un modèle de gestion de la nappe des Calcaires de Beauce. Rap. BRGM 75 SGN 166 BDP, 38 p., 14 pl., 8 ann.
- Caudron M., Desprez N., Rampon G., Rousselot D., Viot A. (1971) - Mise en valeur et exploitation des données acquises sur la nappe des Calcaires de Beauce. Première phase : réalisation d'un modèle mathématique de simulation des écoulements bidimensionnels en milieu poreux, en régime permanent. Rap. BRGM 71 SGN 331 BDP, 26 p., 12 pl., 4 ann.
- Desprez N. (1967) - Etude hydrogéologique des Calcaires de Beauce (Petite Beauce). Rap. BRGM DSGR 67 A7, 21 p., 5 pl., 5 ann.
- Desprez N. (1967) - Etude hydrogéologique du Calcaire de Beauce. Inventaire des bassins de la Conie, de l'Aigre et du Rû d'Ecoman (Haute et Basse Beauce). Rap. BRGM DSGR 67 A11, 23 p., 6 pl., 6 ann.
- Desprez N. (1967) - Etude hydrogéologique du Calcaire de Beauce. Inventaire du bassin des Mauves. Rap. BRGM DSGR 67 A30, 21 p., 5 pl., 3 ann.
- Desprez N. (1967) - Etude hydrogéologique du Calcaire de Beauce. Inventaire du bassin versant de la Loire en amont d'Orléans. Rap. BRGM DSGR 67 A86, 24 p., 6 pl., 4 ann.
- Desprez N., Dupré J. (1968) - Etude hydrogéologique du Calcaire de Beauce. Inventaire du bassin de la Voise et de la Roguette. Rap. BRGM 68 SGL 27 BDP, 22 p., 7 pl., 6 ann.
- Desprez N., Martins Cl. (1968) - Etude hydrogéologique du Calcaire de Beauce. Inventaire du bassin de la Juine, de l'Essonne et du Loing. Rap. BRGM 68 SGL 68 BDP, 38 p., 7 pl., 4 ann.

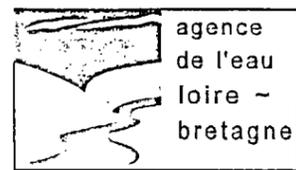
- Desprez N., Mégnyen Cl. (1964) - Etude synthétique préliminaire sur la nappe de Beauce. Rap. BRGM DSGR 64 A 27, 13 p., 7 pl., 3 ann.
- Desprez N., Mégnyen Cl. (1975) - Atlas hydrogéologique de la Beauce. 71 p., 2 pl., 1 an.
- EDF (1969) - Etude hydrogéologique du Calcaire de Beauce. Rap. BRGM 68 SGL 149 BDP.
- Gély J.P., Lorenz C. (1991) - Analyse séquentielle de l'Eocène et de l'Oligocène du Bassin parisien (France). *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, vol. 46, n° 6, novembre-décembre 1991, pp. 713-745, 20 fig., ref. bib.
- Maget Ph. (1995) - Piézométrie du système aquifère de Beauce. Basses eaux 1994. Rap. BRGM R 38572, 33 p., 8 fig., 1 tabl., 3 annexes, 2 pl.
- Mégnyen Cl. (1979) - Hydrogéologie du centre du bassin de Paris. *Mémoire BRGM* n° 98.
- Ménillet F. (1980) - Les lithofaciès des Calcaires de Beauce (Stampien supérieur et Aquitanien) du bassin de Paris (France). *Bulletin du BRGM* (deuxième série), section IV, n° 1, 1980-81, pp. 15-55, 16 fig., 5 pl. photo.
- Seguin J.J. (1987) - Teneurs en nitrates dans la nappe des calcaires de Beauce. Rapp. BRGM 87 SGN 192 EAU, 99 p., 25 fig., 18 tabl.
- Studer H. (1995) - Nappe de Beauce : acquisition des données préalables à la constitution d'un outil de gestion. 29 p., 3 ann.
- Rapport BRGM (N 0306) – Etude hydrogéologique du bassin de la Conie (Eure-et-Loire) - (septembre 1993).
- Rapport ANTEA (A02241) – Bassins de la Bezonde, de l'Huillard, du Puiseaux, du Solin, du Vernisson et du Talot. Hydrogéologie, hydrologie, exploitation des ressources en eau (D. Rousselot – février 1995).
- Rapport HORIZONS (V5602) – Etude globale du bassin versant du Fusain – (février 1997).

**CARTES GEOLOGIQUES CONSULTEES : Editions à 1/50 000,
EDITIONS BRGM, 3, Avenue Claude Guillemin, BP 6009, 45060 ORLEANS CEDEX 2**

N°216 Dreux, 1994, F. Menillet et al
N°217 Nogent-le-Rotrou, 1971, F. Menillet et al
N°218 Rambouillet, 1971, F. Menillet et al
N°255 Chartres, 1971, F. Menillet et al
N°255 Dourdan, 1969, C. Bricon et al
N°257 Etampes, 1969, Ch. Pommerol et al
N°258 Melun, 1974, J. Labourgigne et al
N°259 Nangis, 1967, J. Marchand et al
N°290 Illiers, 1984, C. Gigot
N°291 Voves, 1976, C. Gigot
N°292 Méréville, 1980, C. Gigot
N°293 Malesherbes, 1979, J. Manivit
N°294 Fontainebleau, 1970, G. Denizot
N°295 Montereau Faut Yonne, 1973, M. Turland et al
N°325 Châteaudun, 1977, C. Gigot et al
N°326 Orgères, 1975, C. Gigot
N°327 Neuville, 1978, C. Gigot
N°328 Pithiviers, 1978, J. Manivit
N°329 Château Landon, 1970, G. Denizot
N°330 Chéroy, 1974, F. Ménillet
N°361 Cloyes, 1982, J. Manivit
N°362 Patay, 1973, C. Gigot
N°363 Orléans, 1969, G. Berger
N°364 Bellegarde du Loiret, 1984, C. Gigot
N°365 Montargis 1970, G. Denizot
N°366 Courtenay 1988, B. Pommerol
N°395 Vendôme, publication en cours
N°396 Selommes 1982, J. Manivit
N°397 Beaugency, 1974, M. Gigout
N°398 La Ferté Saint Aubin, 1970, M. Gigout
N°399 Châteauneuf sur Loire, 1970, M. Gigout
N°400 Châtillon Coligny, 1977, M. Gigout
N°401 Bléneau, 1988, B. Pommerol
N°427 Château Renault, 1975, J. Manivit
N°428 Blois, 1972, M. Caudron et al
N°432 Gien, 1977, M. Gigout
N°458 Amboise, 1968, G. Alcaydé
N°459 Montrichard, 1977, J.J. Macaire

BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Département Eau

BP 6009 – 45060 Orléans cedex 2 – France – Tél : 33 (2) 38 64 34 34



*Études préalables
à la réalisation d'un modèle de gestion
de la nappe de Beauce*

Géométrie du réservoir et limites de la nappe de Beauce

FIGURES

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-D-509

mars 1999
R 40571

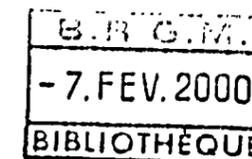
Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et
des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie





*Études préalables
à la réalisation d'un modèle de gestion
de la nappe de Beauce*

Géométrie du réservoir et limites de la nappe de Beauce



FIGURES

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-D-509

mars 1999
R 40571

Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et
des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie



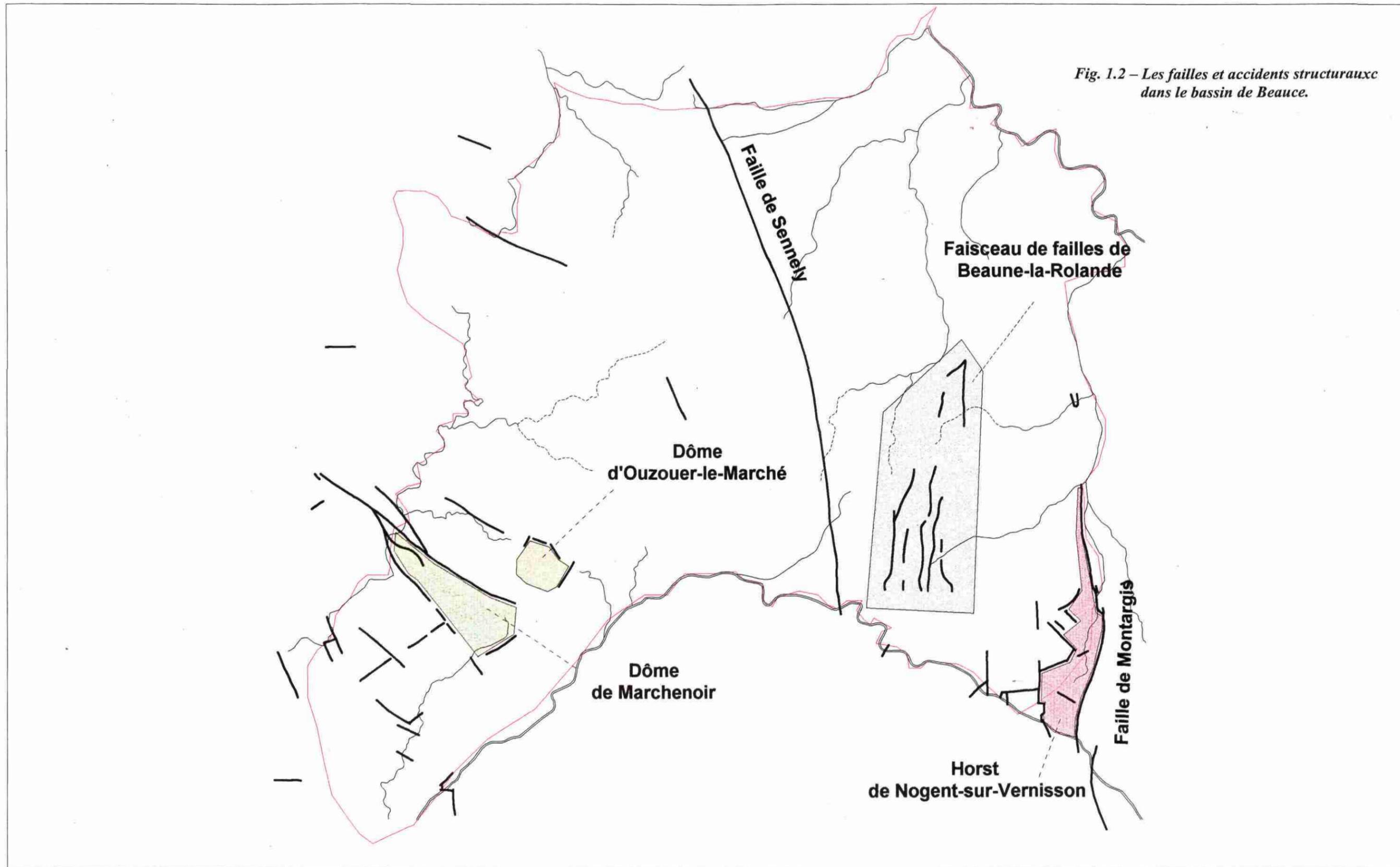


Fig. 1.2 – Les failles et accidents structuraux dans le bassin de Beauce.

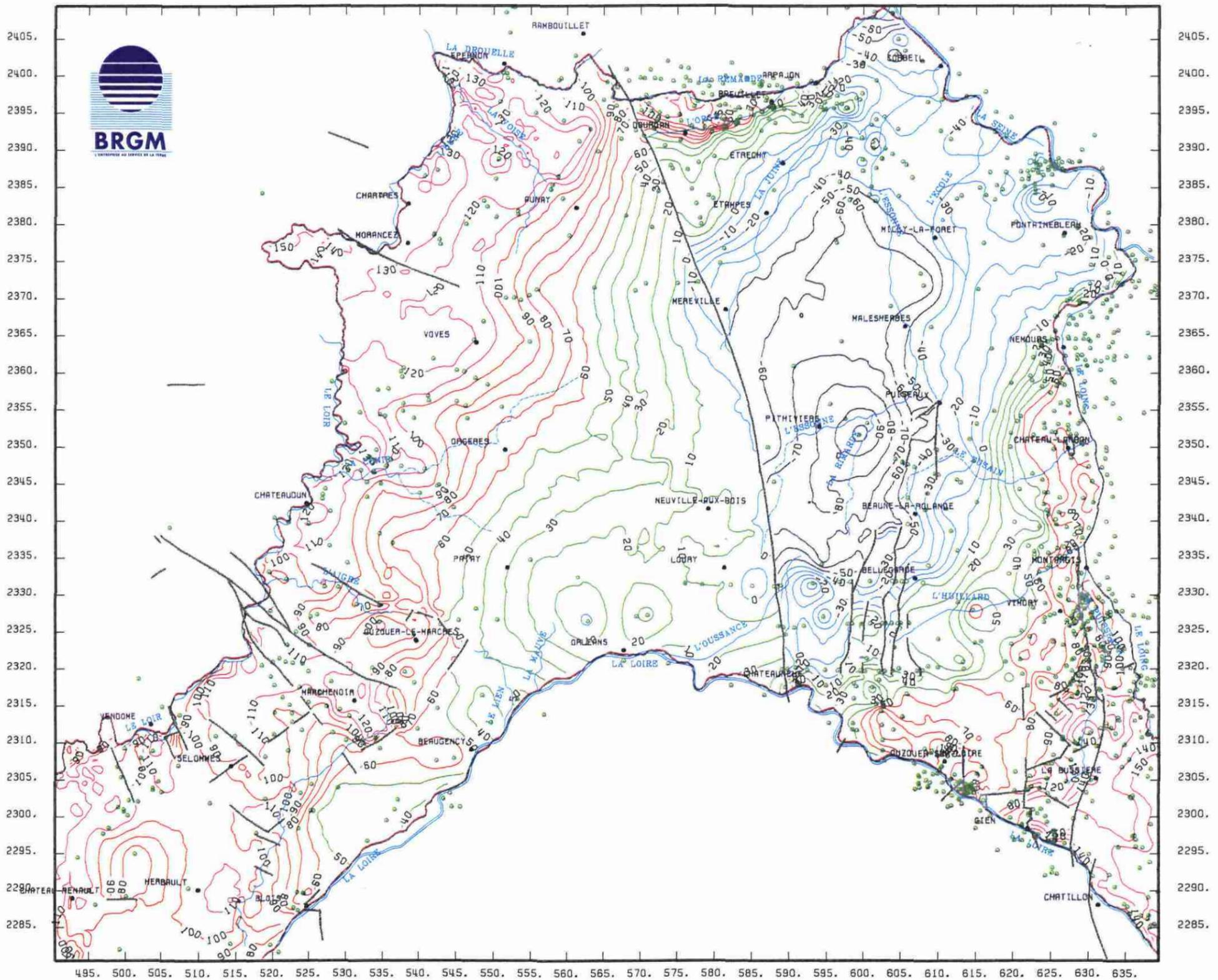
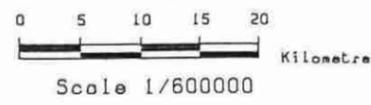


Fig. 1.2.1. - Carte structurale du toit de la craie.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



BRGM	
SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE DE LA BEUCE	
ALTITUDE DU TOIT DE LA CRAIE	
27-Mar-99	Compiled by : BRGM/CGG
GDM software BRGM/GEOMATH	



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

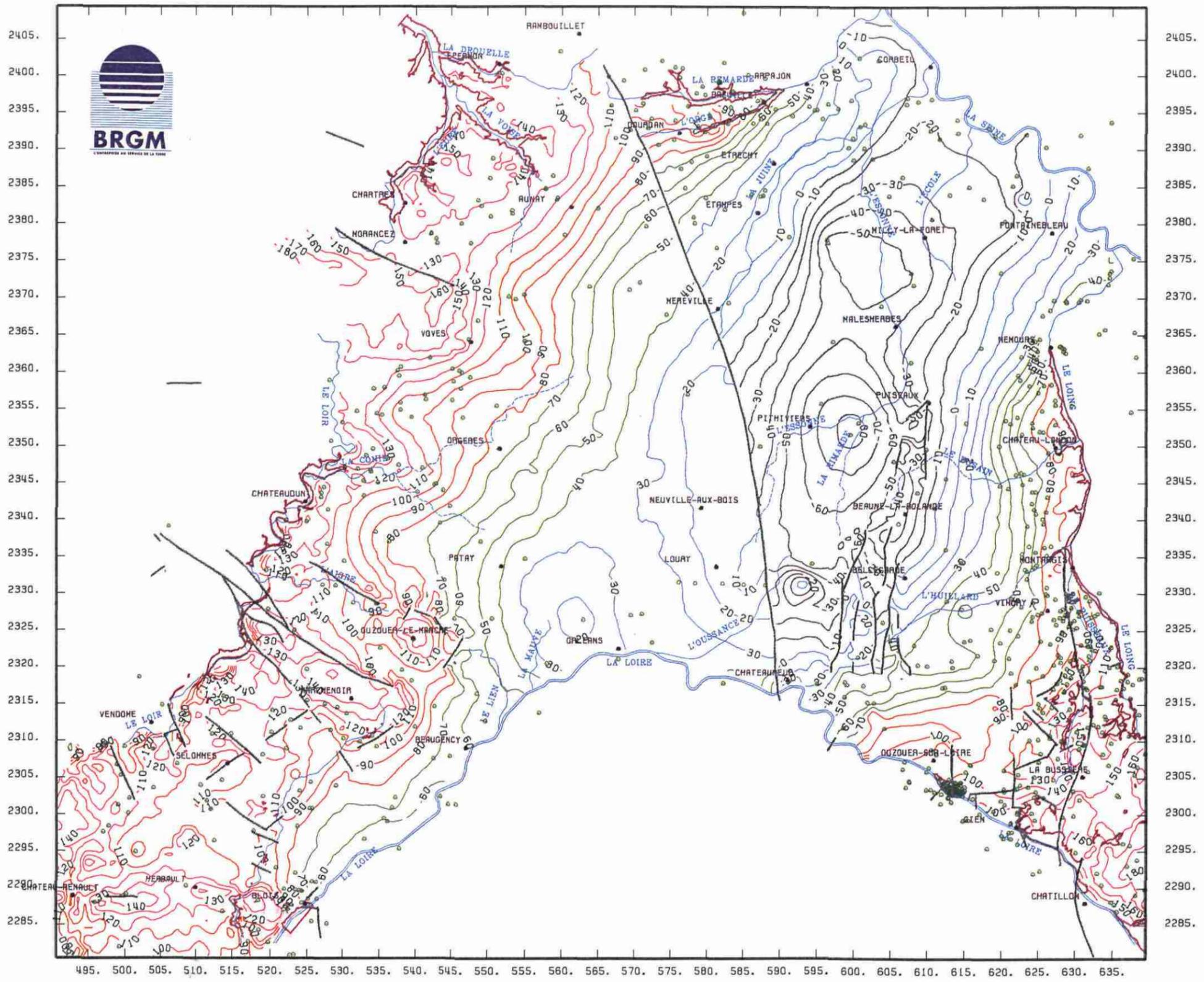
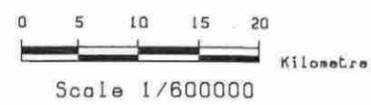


Fig. 1.2.2. - Carte structurale du toit des formations détritiques éocènes.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



BRGM	
SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEAUCE	
ALTITUDE DU TOIT DE L'ÉOCÈNE DÉTRITIQUE ET DES ARGILES À SILEX	
27-Mar-99	Compiled by : GIOT/LE NINDRE
GDM software BRGM/GEOMATH	



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

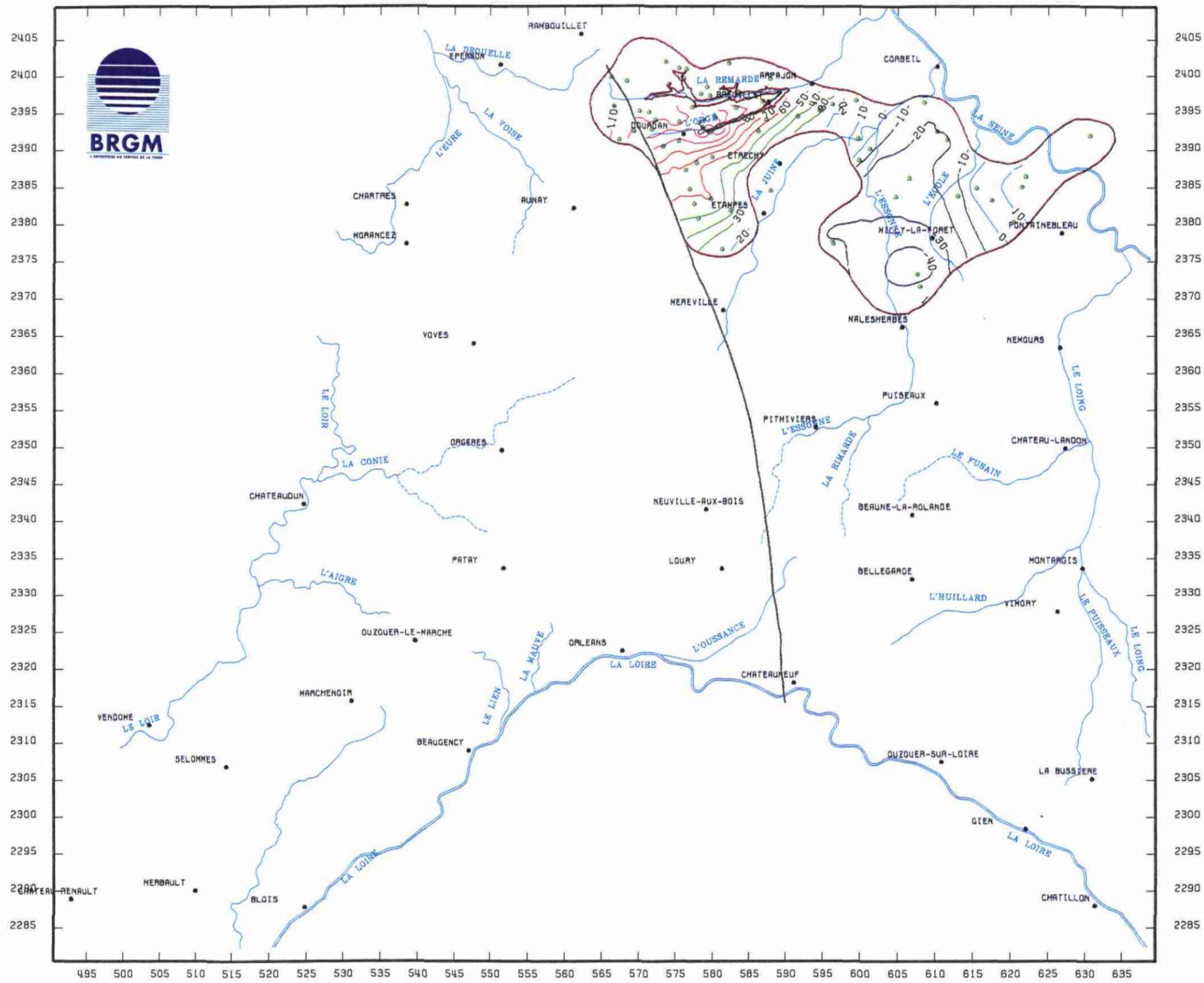
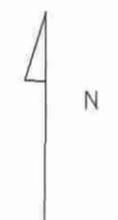
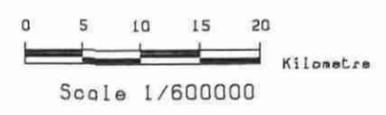


Fig. 1.2.3. - Carte structurale de l'Arkose de Breuillet.

Echelle 1/600 000

Isohypes du toit
exprimées en altitude NGF
en mètres



BRGM	
SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEAUCE	
ALTITUDE DU TOIT DE L'ARKOSE DE BREUILLET	
27-Mar-99	Compiled by : GIOT/LE NINDRE
GDM software BRGM/GEOMATH	



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux
Centre et Ile-de-France,
et des agences de l'eau
Loire-Bretagne et Seine-Normandie

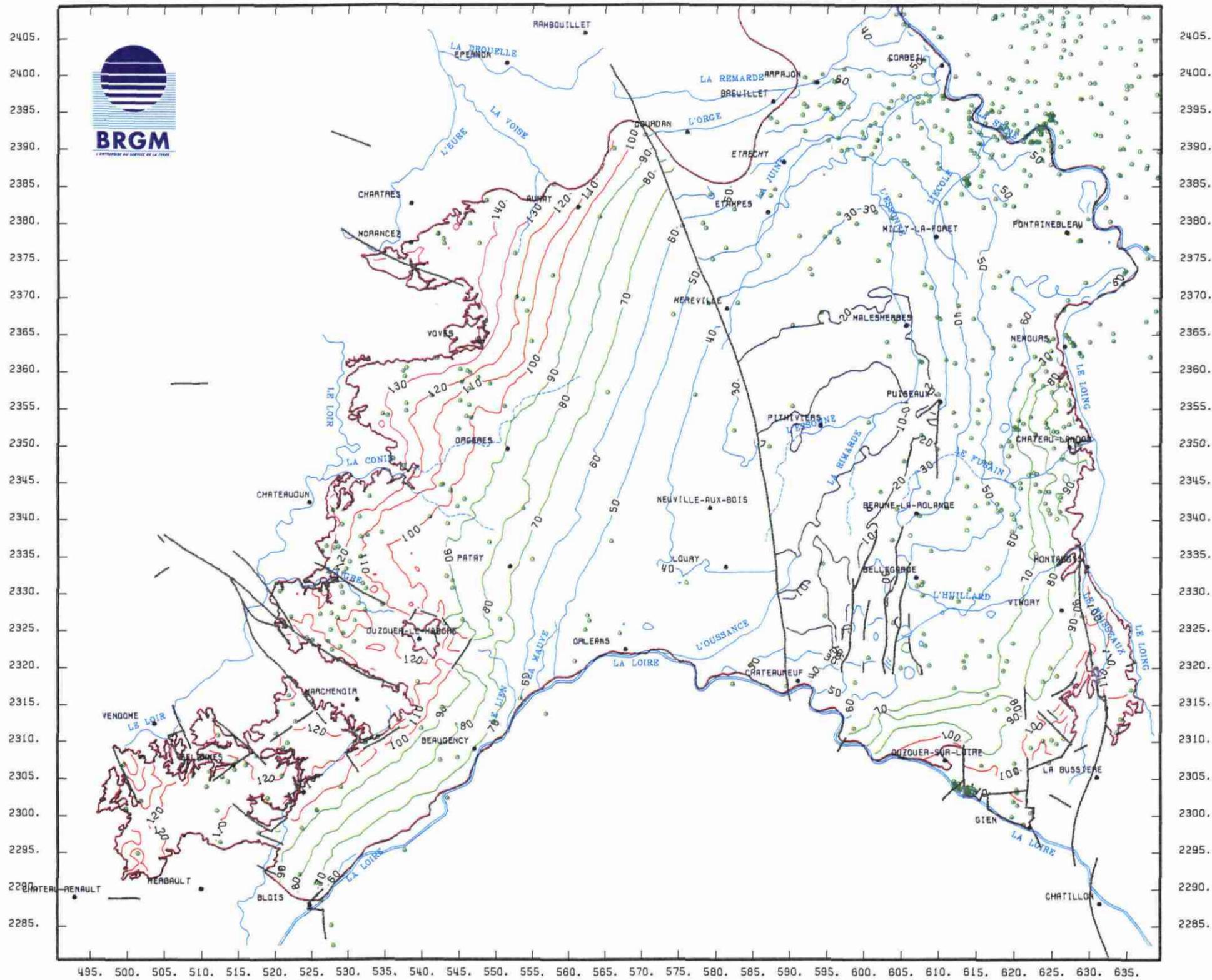
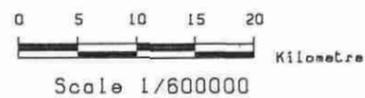


Fig. 1.2.4. - Carte structurale du toit des calcaires éocènes.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



BRGM	
SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEAUCE	
ALTITUDE DU TOIT DES CALCAIRES ÉOCÈNES	
27-MAR-99	Compiled by : GIOT/LE NINDRE
GDM software BRGM/GEOMATH	



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

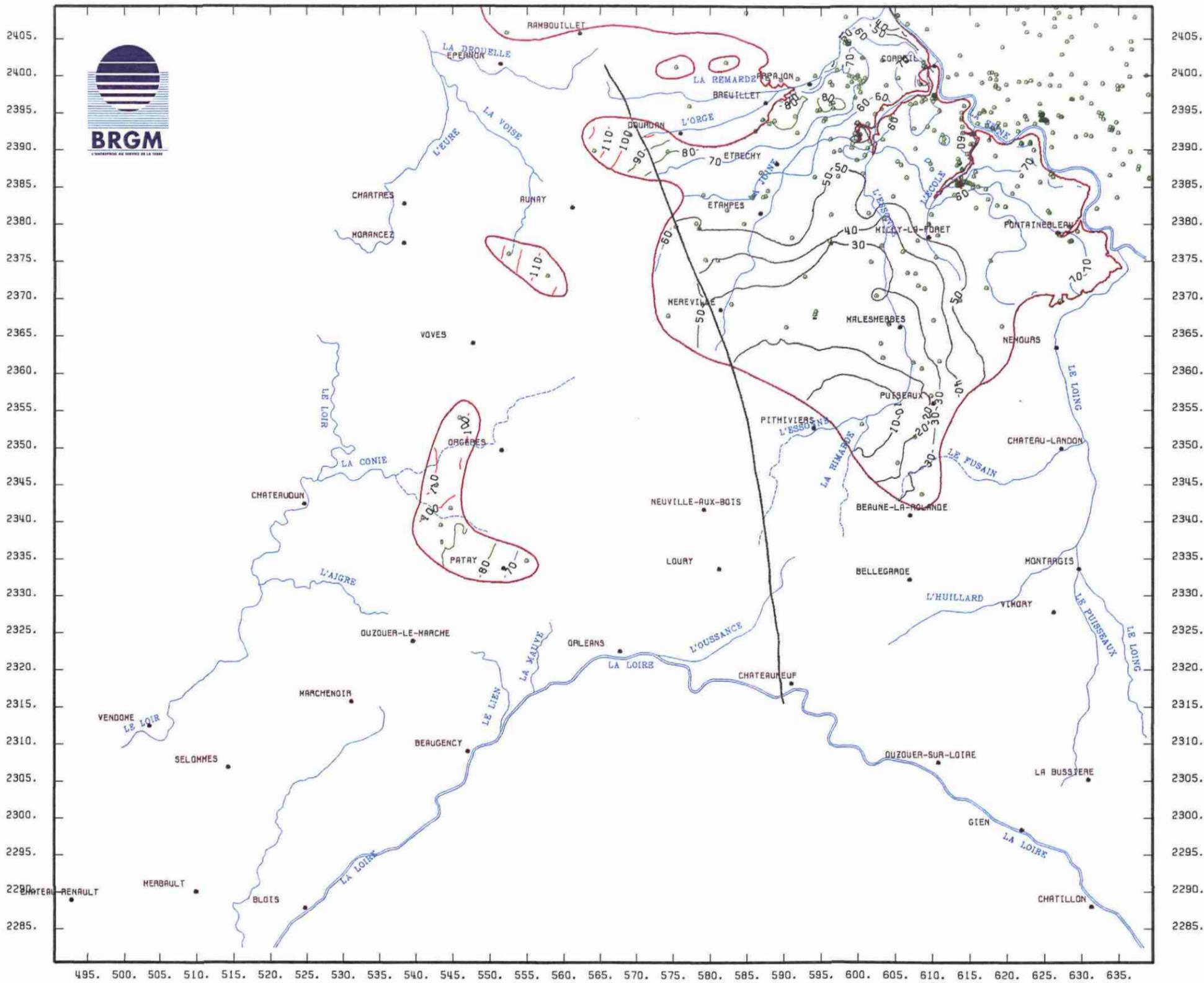
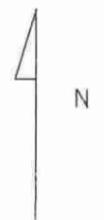
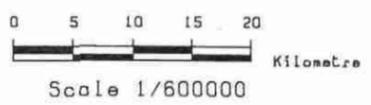


Fig. 1.2.5. - Carte structurale du toit des argiles vertes et marnes supragypseuses.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



BRGM	
SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEAUCÉ	
ALTITUDE DU TOIT DES ARGILES VERTES ET MARNES SUPRA-GYPSEUSES	
27-Mar-99	Compiled by : GIOT/LE NINDRE
GDM software BRGM/GEOMATH	



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

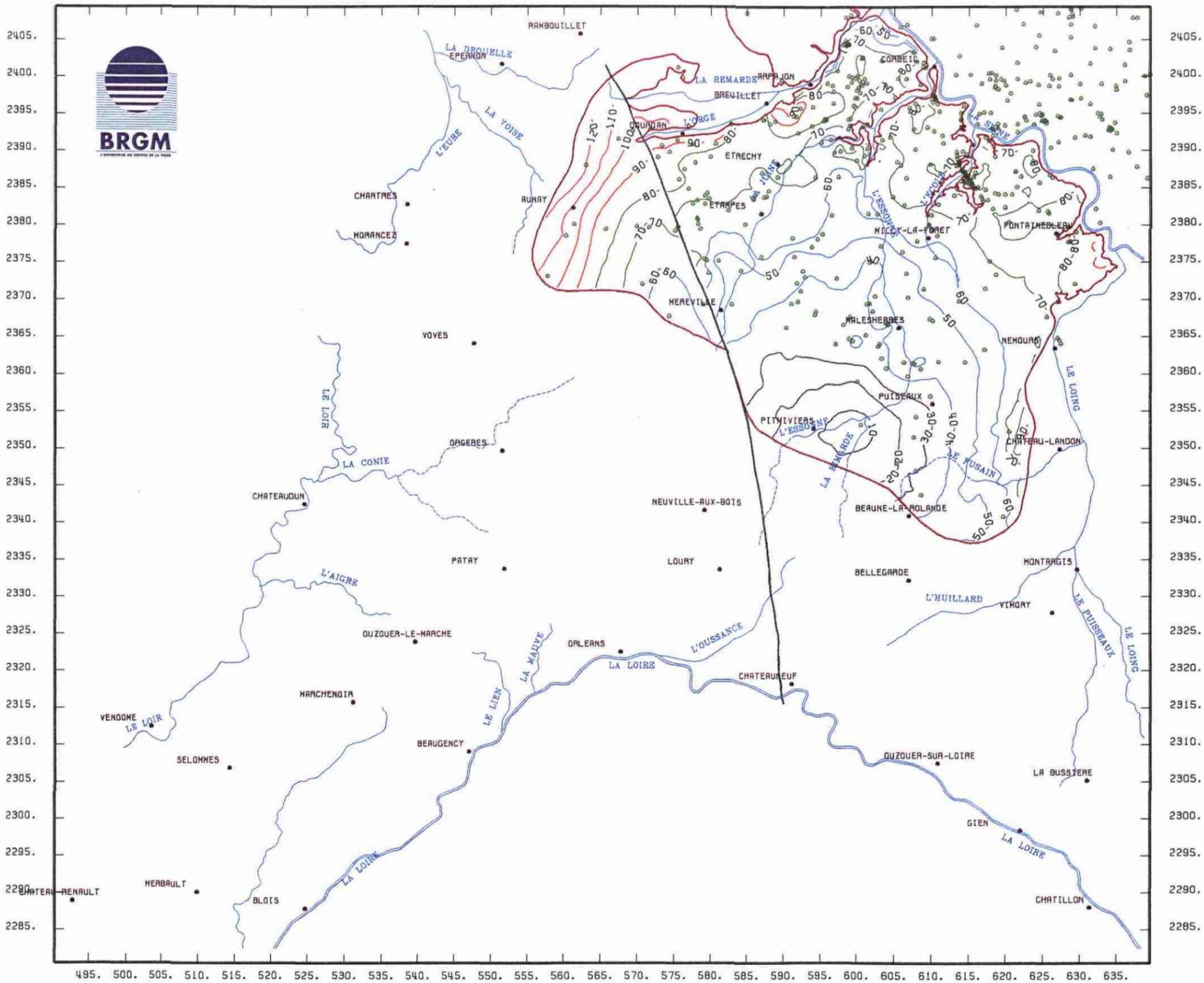
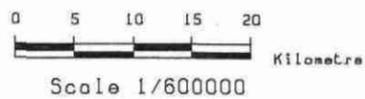


Fig. 1.2.6. - Carte structurale du toit du calcaire de Brie.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



BRGM	
SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE DE LA BEAUCE	
ALTITUDE DU TOIT DU CALCAIRE DE BRIE	
27-Mar-99	Compiled by : GIOT/LE NINDRE
GDM software BRGM/GEOMATH	



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

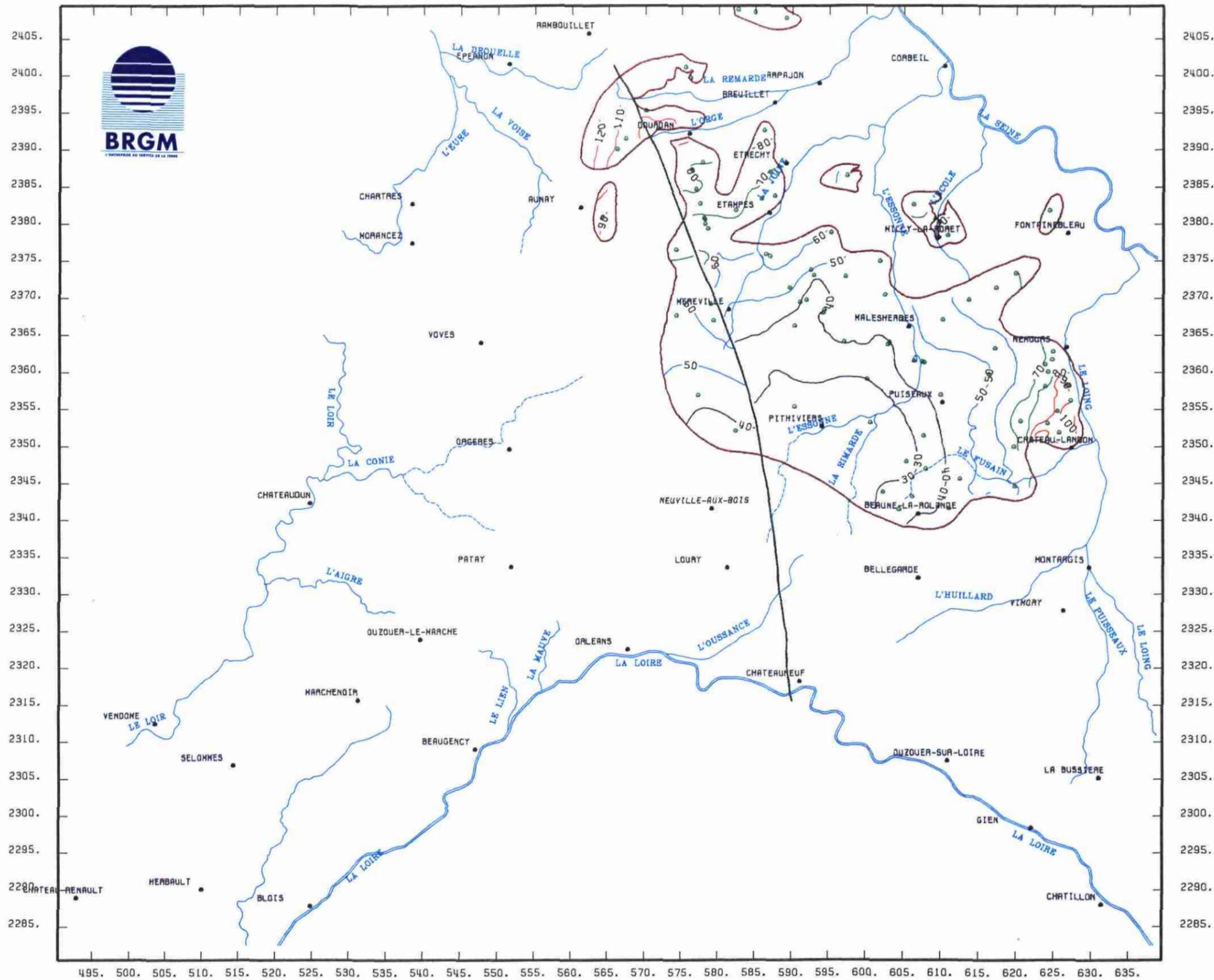
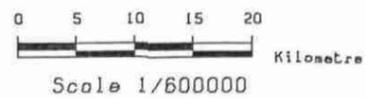


Fig. 1.2.7. - Cartes structurale du toit des marnes à huîtres et de la molasse d'Etréchy..

Echelle 1/600 000

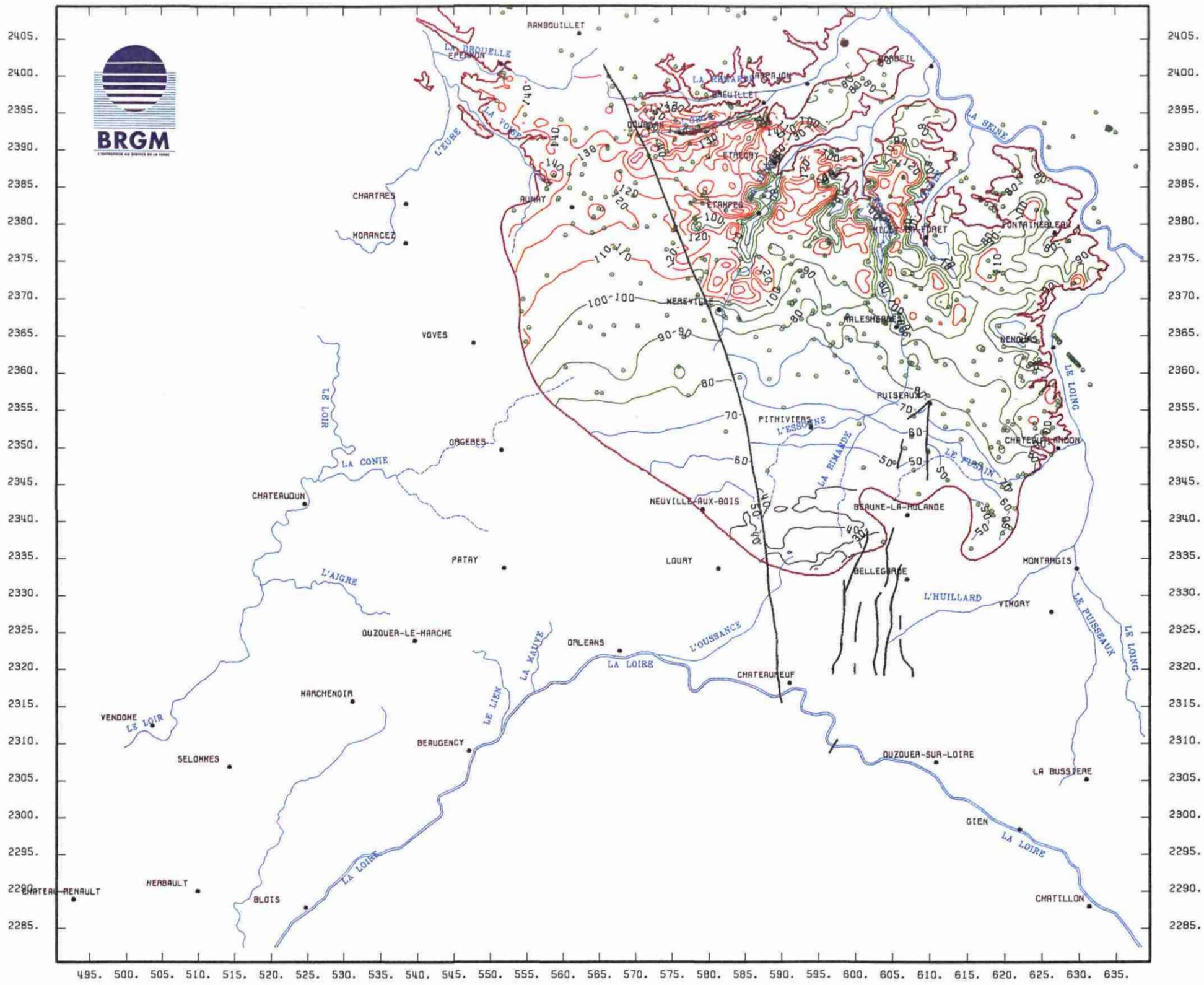
Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



BRGM	
SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEAUCE	
ALTITUDE DU TOIT DES MARNES À HUITRES OU MOLASSE D'ETRECHY	
27-Mar-99	Compiled by : GIOT/LE NINDRE
GDM software BRGM/GEOMATH	



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie



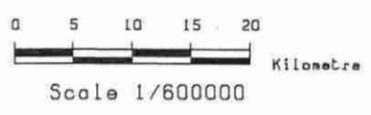
2405.
2400.
2395.
2390.
2385.
2380.
2375.
2370.
2365.
2360.
2355.
2350.
2345.
2340.
2335.
2330.
2325.
2320.
2315.
2310.
2305.
2300.
2295.
2290.
2285.

495. 500. 505. 510. 515. 520. 525. 530. 535. 540. 545. 550. 555. 560. 565. 570. 575. 580. 585. 590. 595. 600. 605. 610. 615. 620. 625. 630. 635.

Fig. 1.2.8. - Carte structurale du toit des sables de Fontainebleau.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



| | |
|--|------------------------------|
| BRGM | |
| SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE DE LA BEAUCE | |
| ALTITUDE DU TOIT DES SABLES DE FONTAINEBLEAU | |
| 27-Mar-99 | Compiled by : GIOT/LE NINDRE |
| GDM software BRGM/GEOMATH | |



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

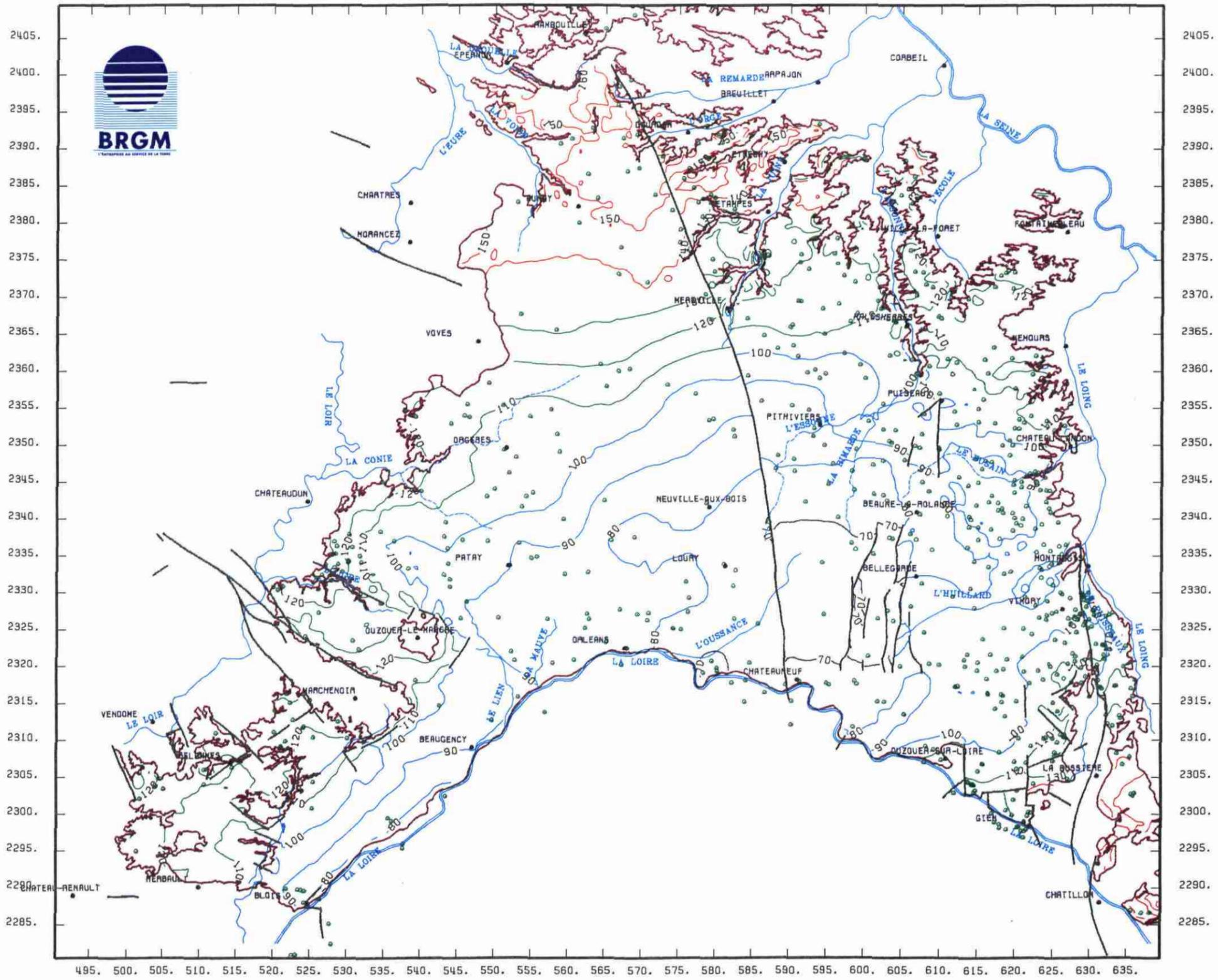
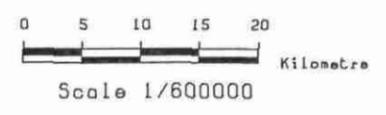


Fig. 1.2.9. - Carte structurale du toit du calcaire d'Etampes.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



| | |
|--|------------------------------|
| BRGM | |
| SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEUCE | |
| ALTITUDE DU TOIT DU CALCAIRE D'ETAMPES | |
| 27-Mar-99 | Compiled by : GIOT/LE NINDRE |
| GDM software BRGM/GEOMATH | |



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

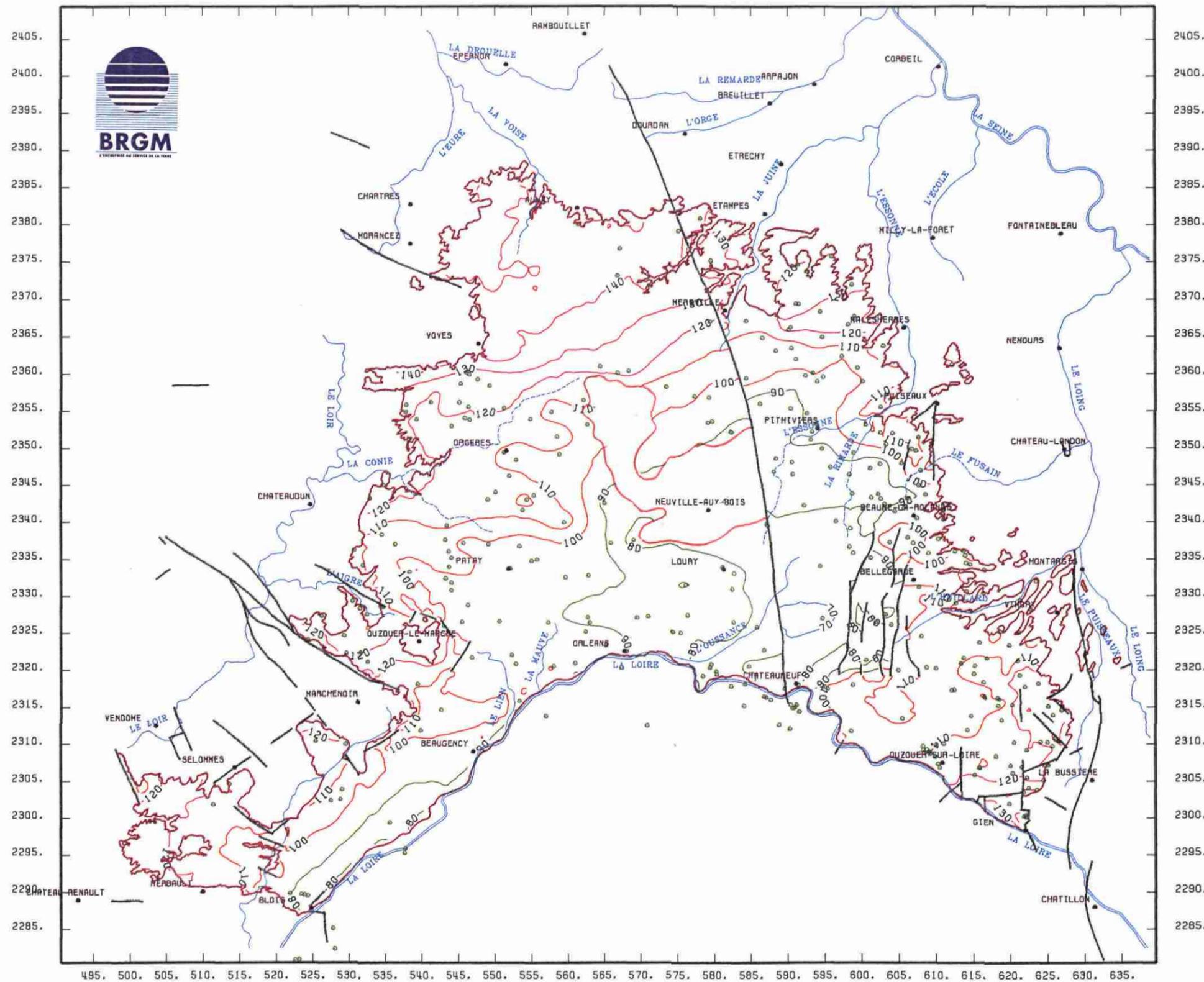
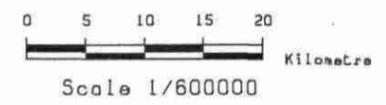


Fig. 1.2.10. - Carte structurale du toit de la molasse du gâtinais.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



| | |
|--|------------------------------|
| BRGM | |
| SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEAUCE | |
| ALTITUDE DU TOIT DE LA MOLASSE DU GÂTINAIS | |
| 27-Mar-99 | Compiled by : GIOT/LE NINDRE |
| GDM software BRGM/GEOMATH | |



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

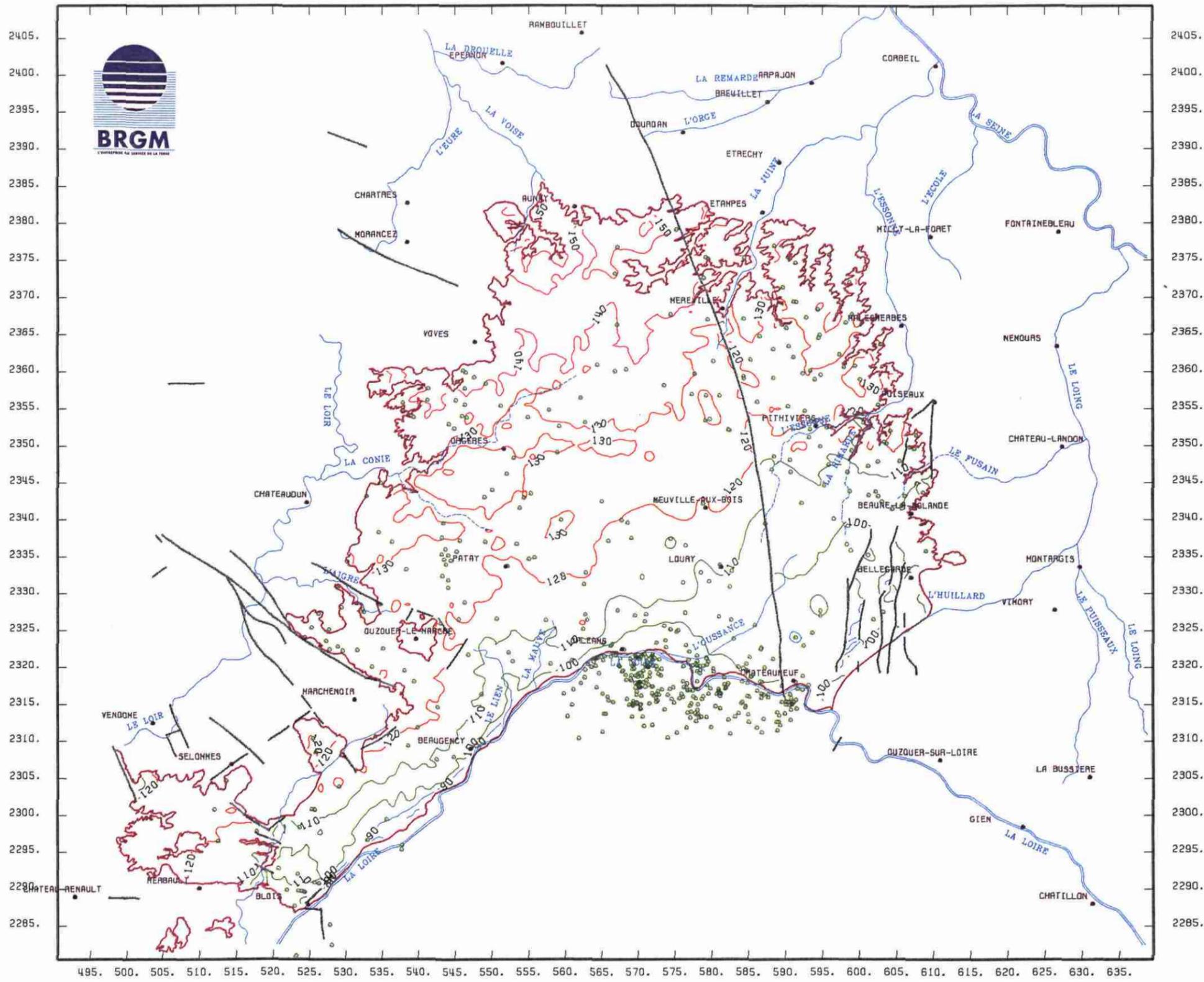
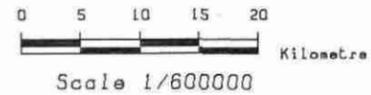


Fig. 1.2.11. - Carte structurale du toit du calcaire de Pithiviers.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



| | |
|--|------------------------------|
| BRGM | |
| SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEUCE | |
| ALTITUDE DU TOIT DES CALCAIRES DE BEUCE-PITHIVIERS | |
| 27-Mar-99 | Compiled by : GIOT/LE NINDRE |
| GDM software BRGM/GEOMATH | |



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

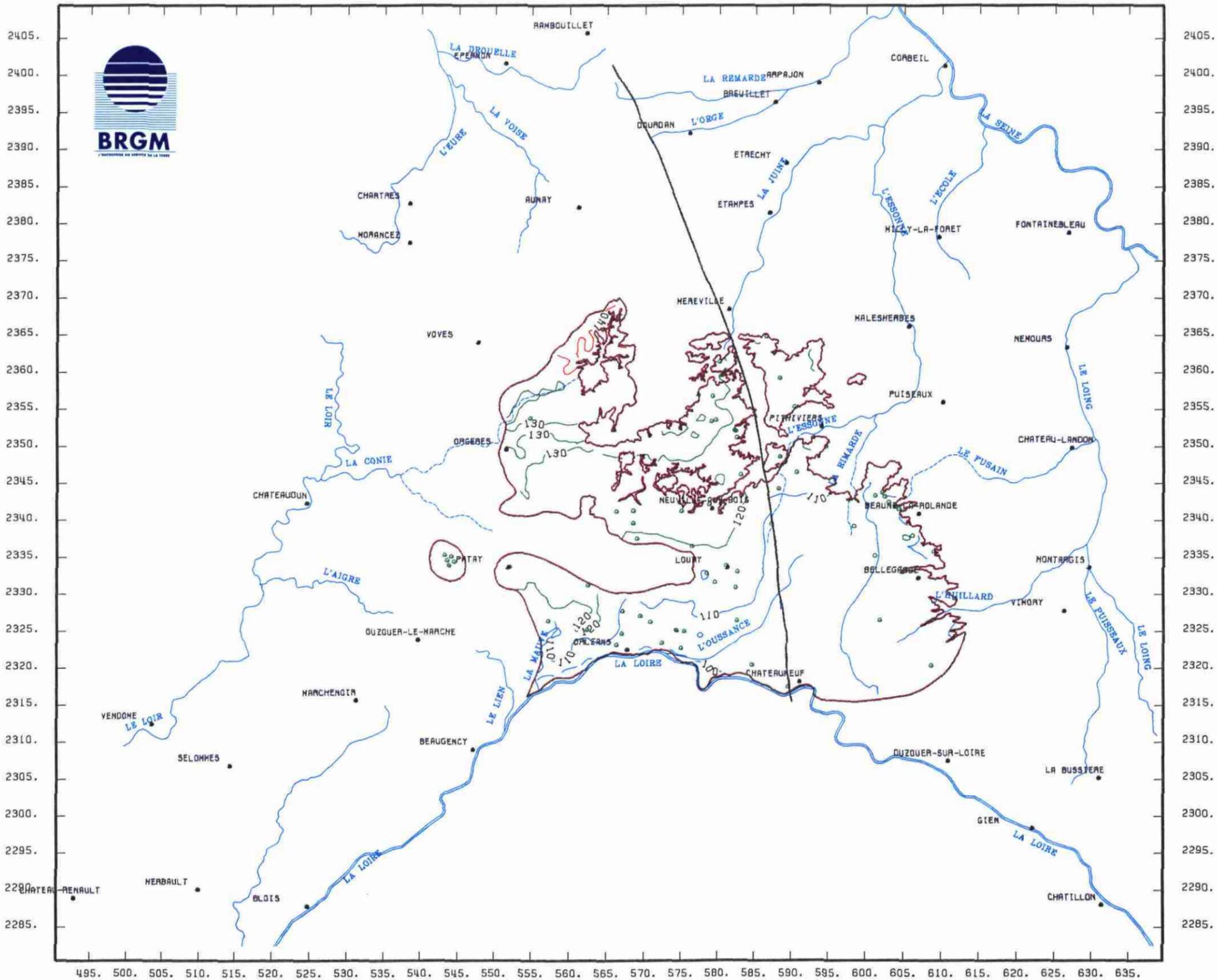
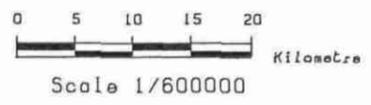


Fig. 1.2.12. - Carte structurale du toit des marnes de Blamont.

Echelle 1/600 000

Isohypses du toit exprimées en altitude NGF en mètres



| | |
|--|------------------------------|
| BRGM | |
| SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEUCE | |
| ALTITUDE DU TOIT DES MARNES DE BLAMONT | |
| 27-Mar-99 | Compiled by : GIOT/LE NINDRE |
| GDM software BRGM/GEOMATH | |



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

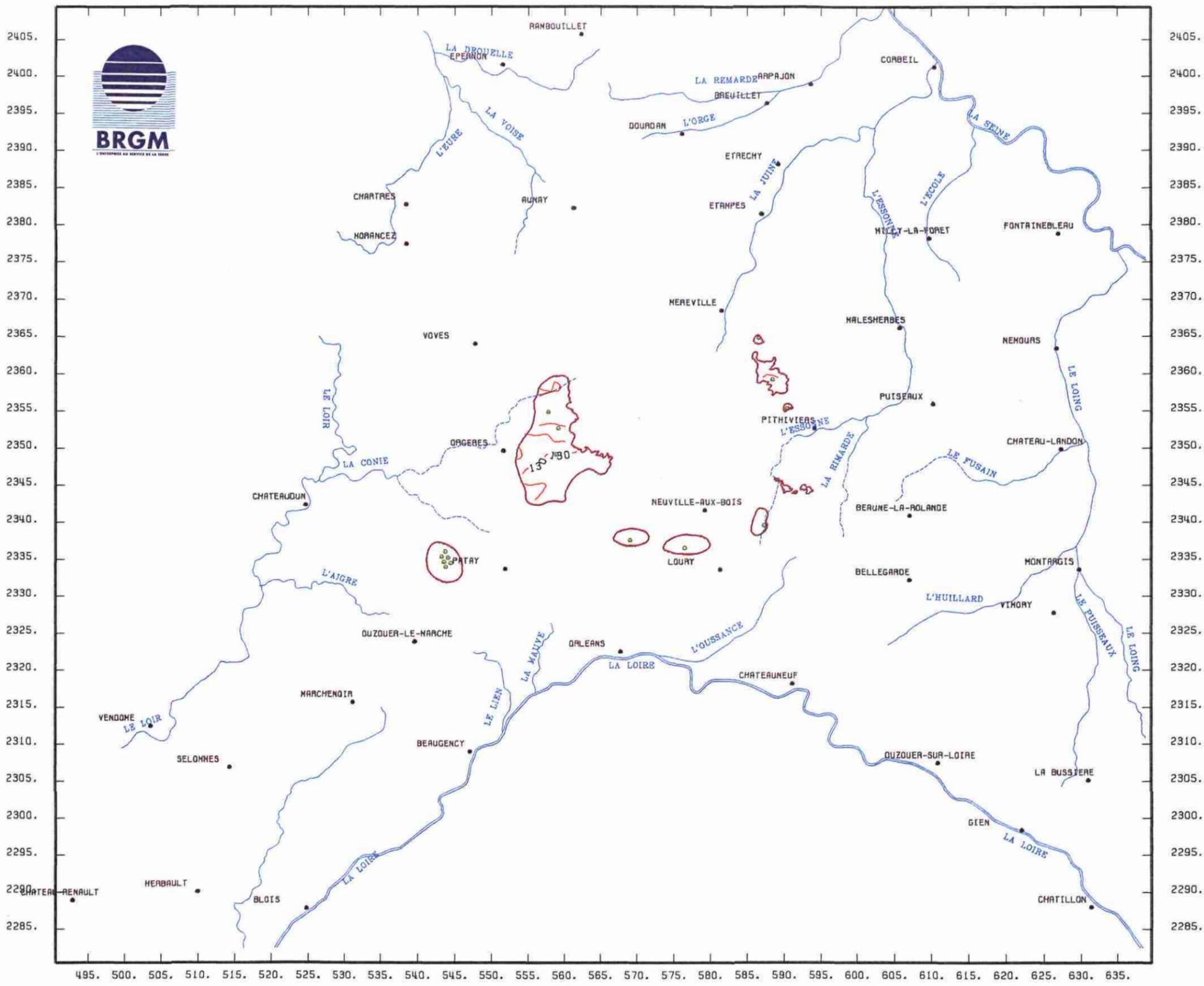
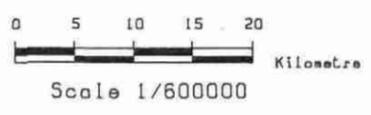


Fig. 1.2.13. - Carte structurale du toit des calcaires de l'Orléanais.

Echelle 1/600 000

Isohyètes du toit exprimées en altitude NGF en mètres



| | |
|---|------------------------------|
| BRGM | |
| SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEauce | |
| ALTITUDE DU TOIT DES CALCAIRES DE L'ORLÉANAIS | |
| 27-Mar-99 | Compiled by : GIOT/LE NINDRE |
| GDM software BRGM/GEOMATH | |



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

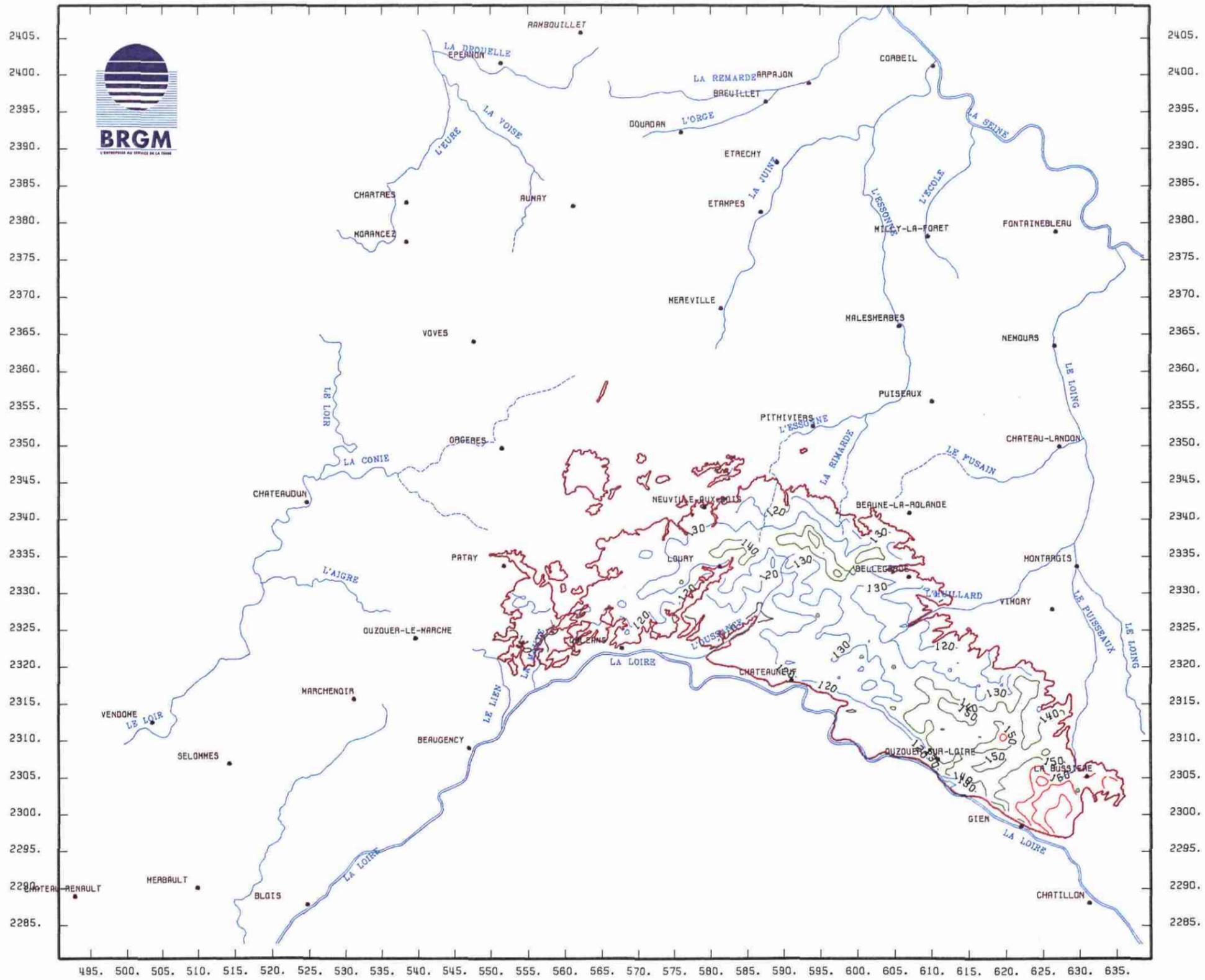
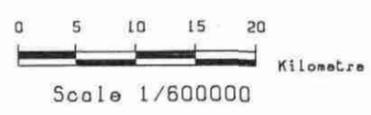


Fig. 1.2.14. - Carte structurale du toit des formations détritiques de l'Orléanais et de Sologne.

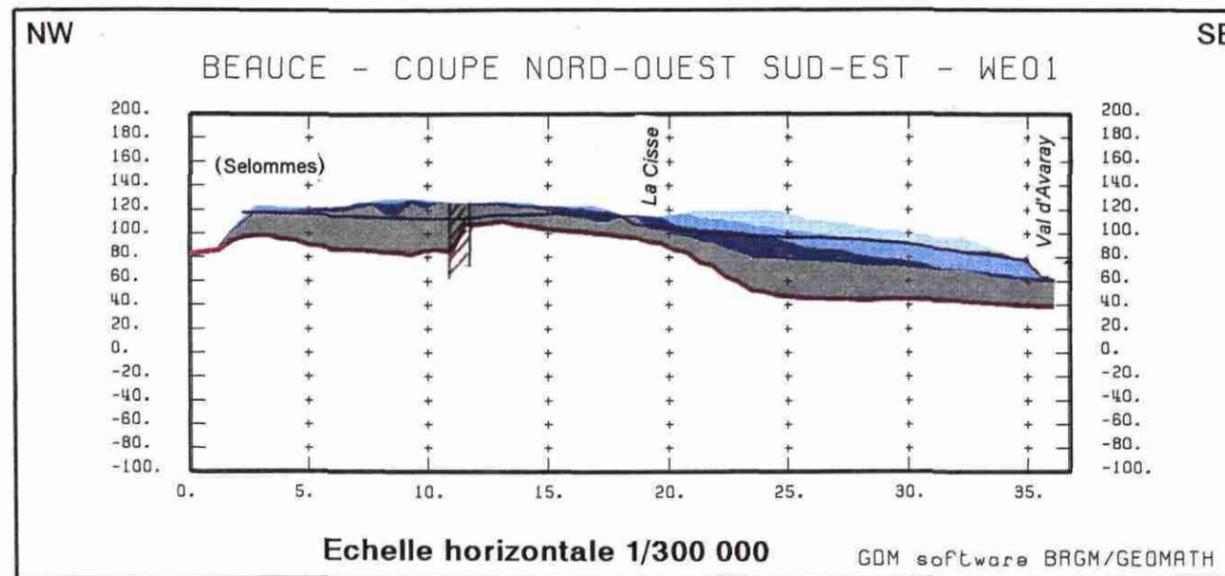
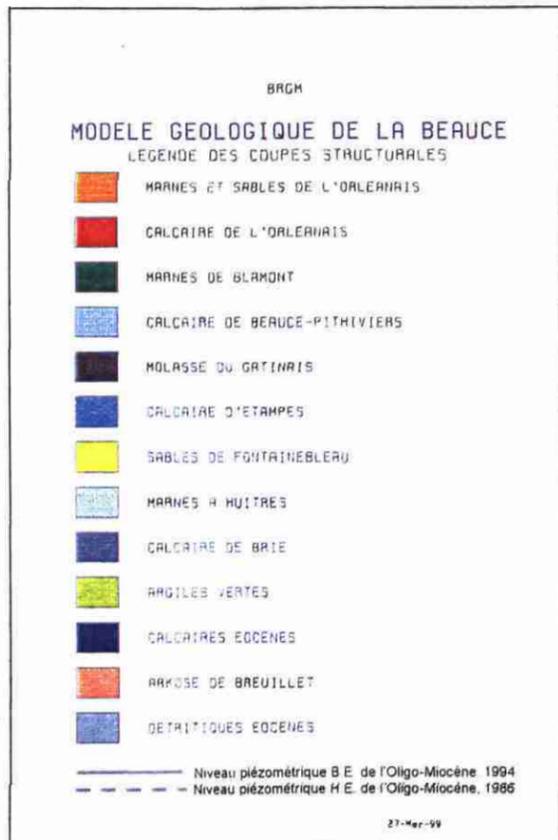
Echelle 1/600 000

Isohypes du toit exprimées en altitude NGF en mètres



| | |
|--|------------------------------|
| BRGM | |
| SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEUCE | |
| ALTITUDE DU TOIT DES MARNES ET SABLES DE L'ORLÉANAIS ET DES SABLES ET ARGILES DE SOLOGNE | |
| 27-Mar-99 | Compiled by : GIGT/LE NINDRE |
| GDM software BRGM/GEOMATH | |

Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie



*Fig. 1.3.1.a - Coupe stratigraphique NW-SE n° 1.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*

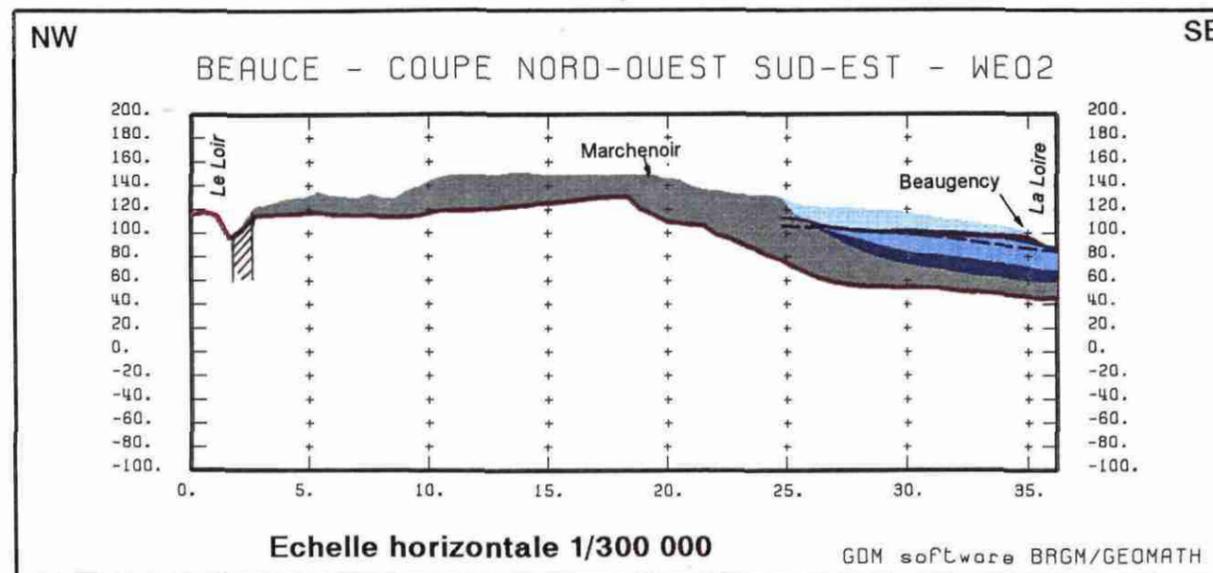
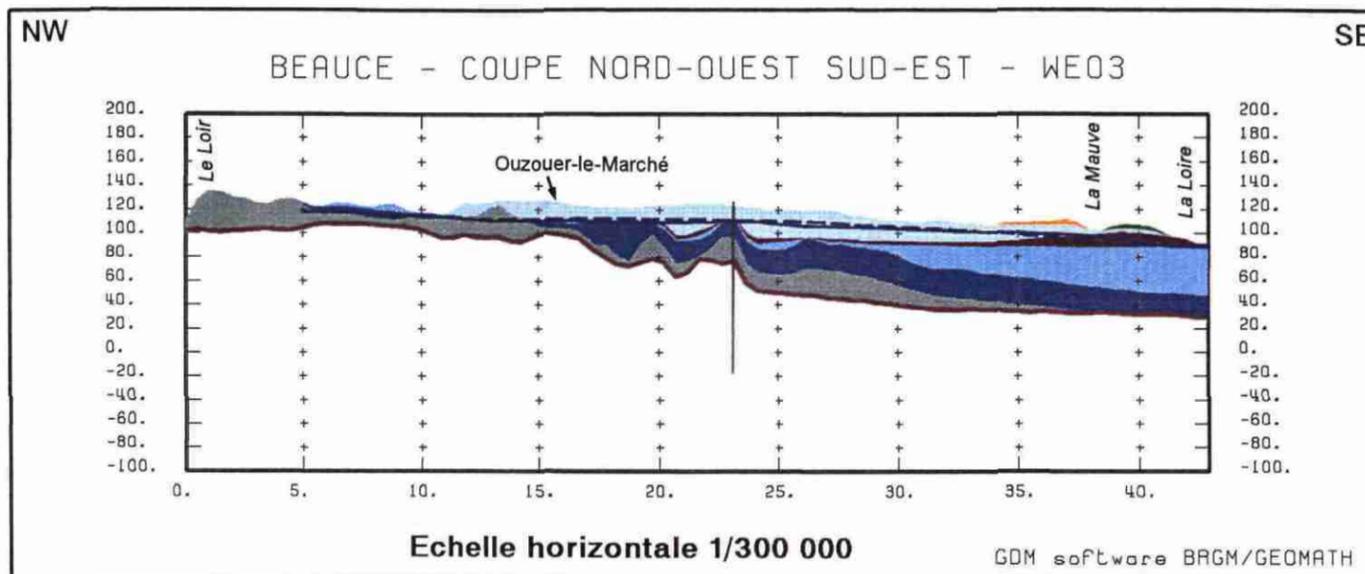
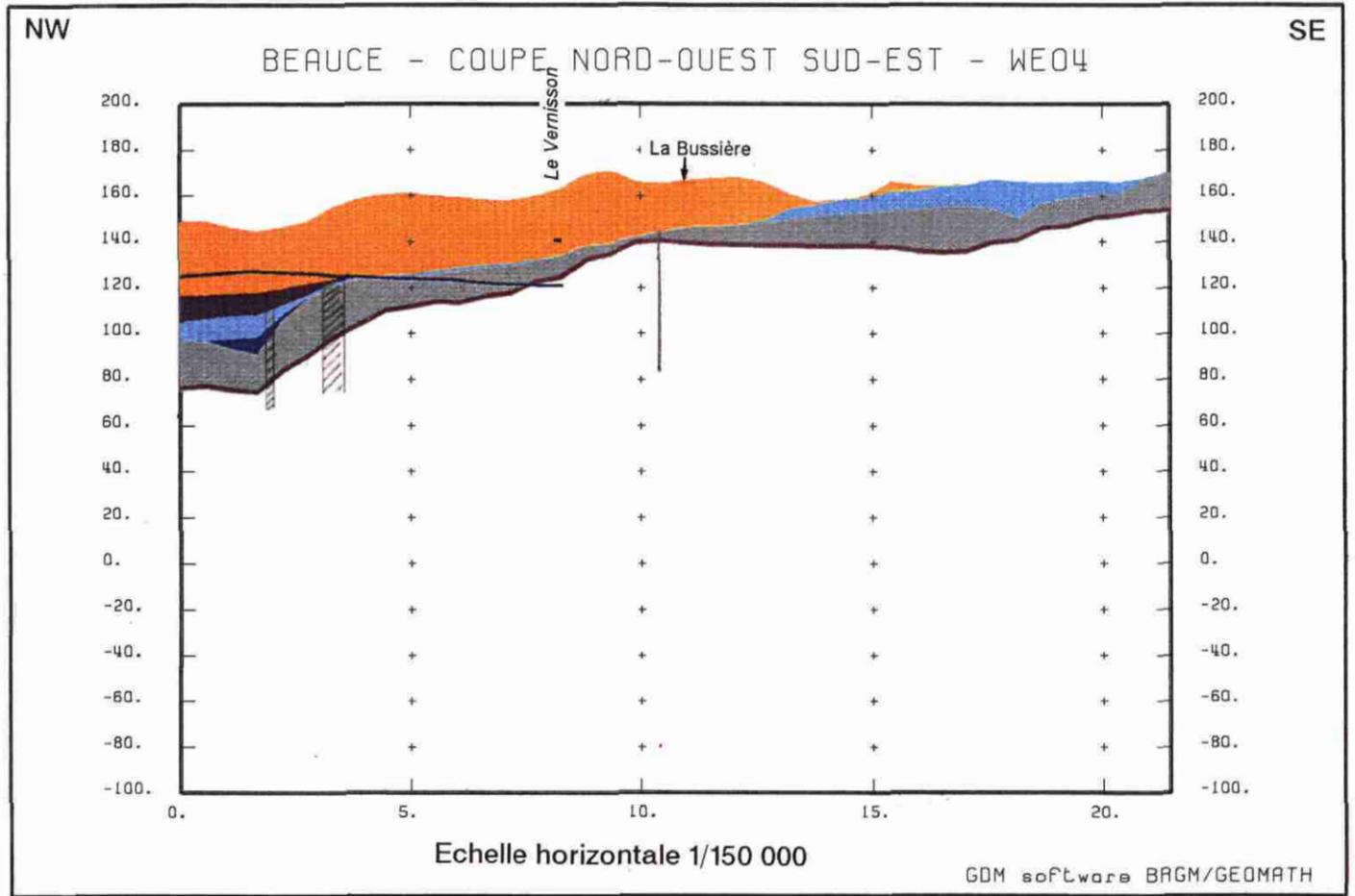


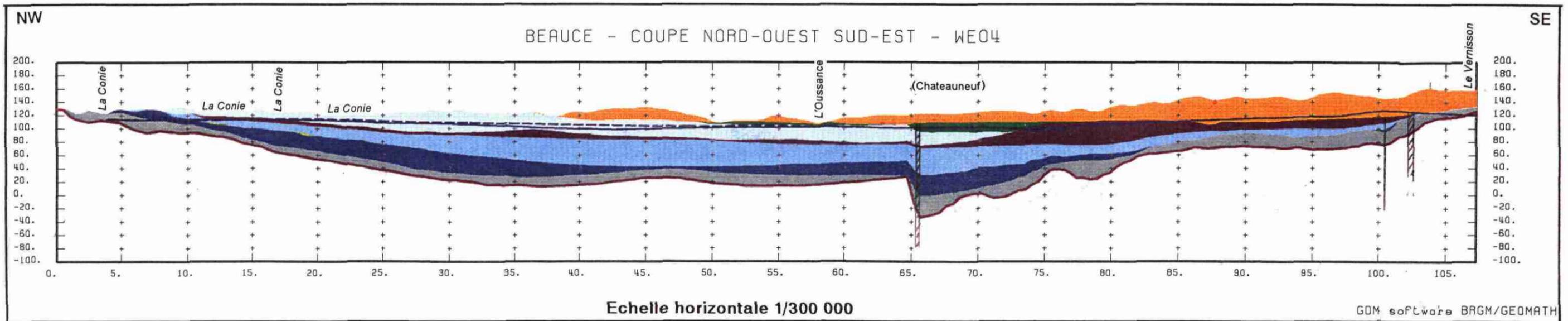
Fig. 1.3.1.b - Coupe stratigraphique NW-SE n° 2.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).



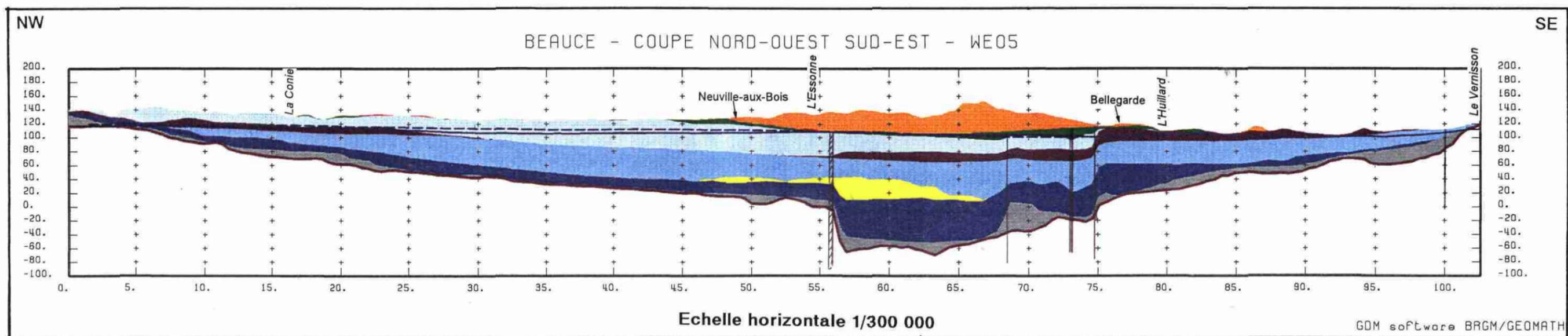
*Fig. 1.3.1.c - Coupe stratigraphique NW-SE n° 3
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



Agrandissement à 1/150 000 de la terminaison de la coupe vers le SE.



*Fig. 1.3.1.d – Coupe stratigraphique NW-SE n° 4.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



*Fig. 1.3.1.e – Coupe stratigraphique NW-SE n° 5.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*

Voir agrandissement des terminaisons NW et SE, fig. 1.3.1.e bis page suivante.

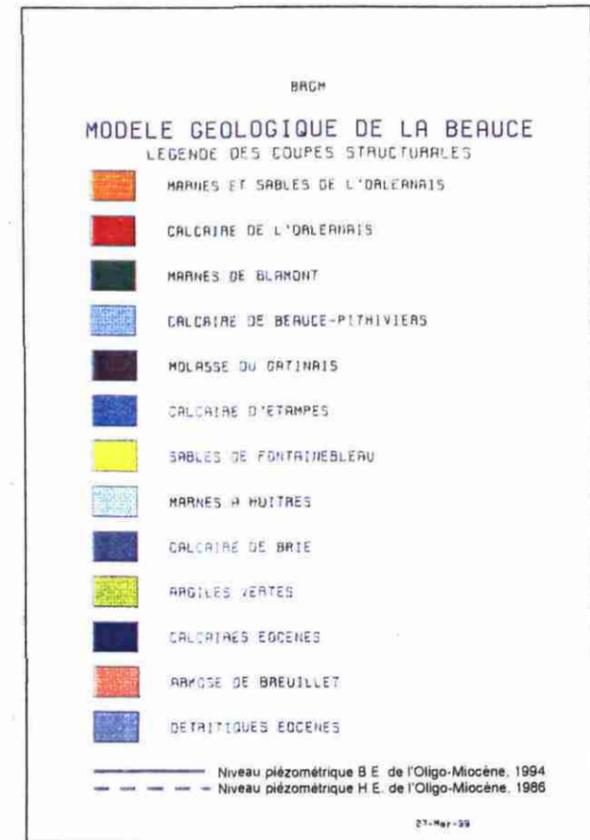
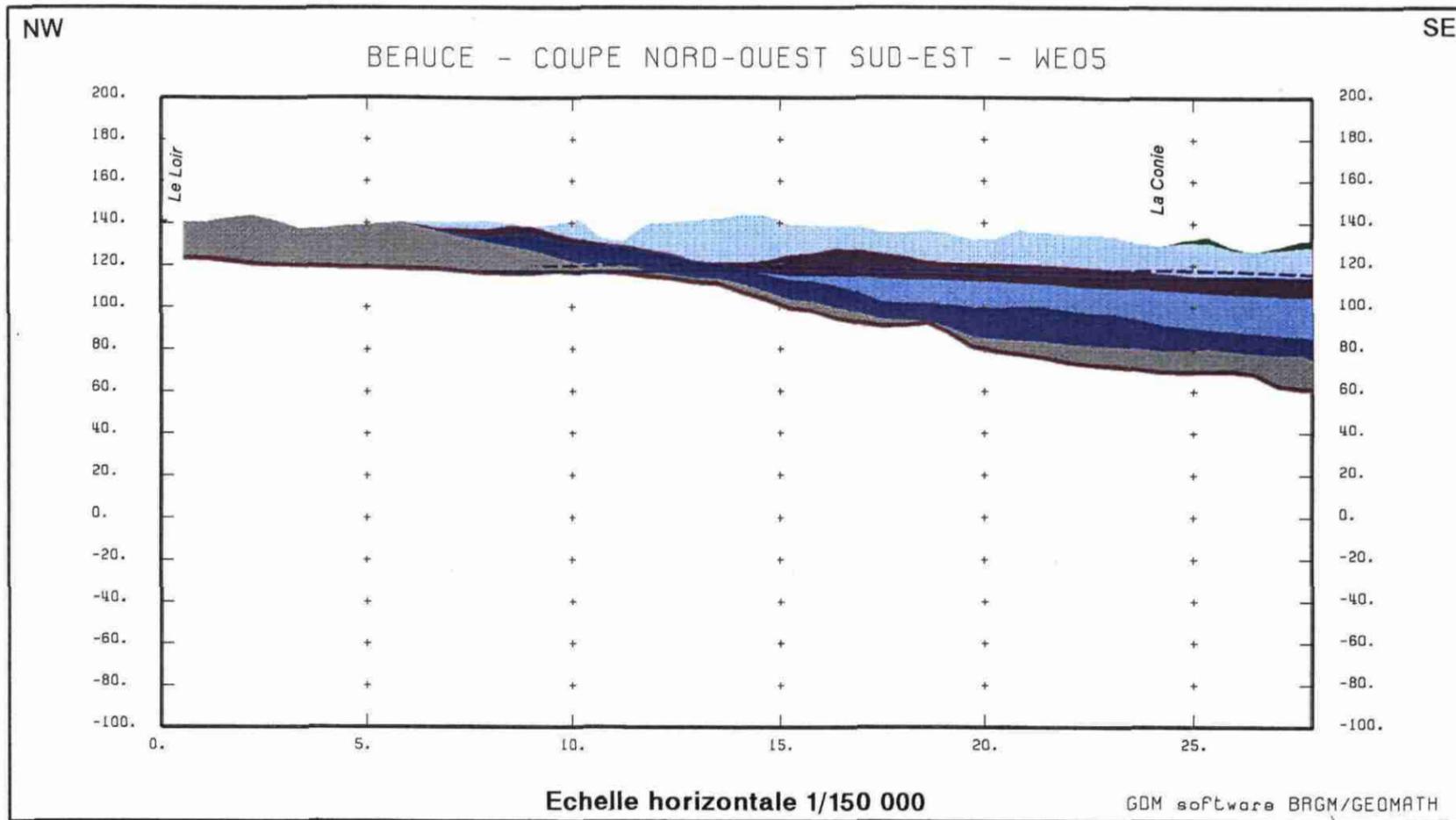
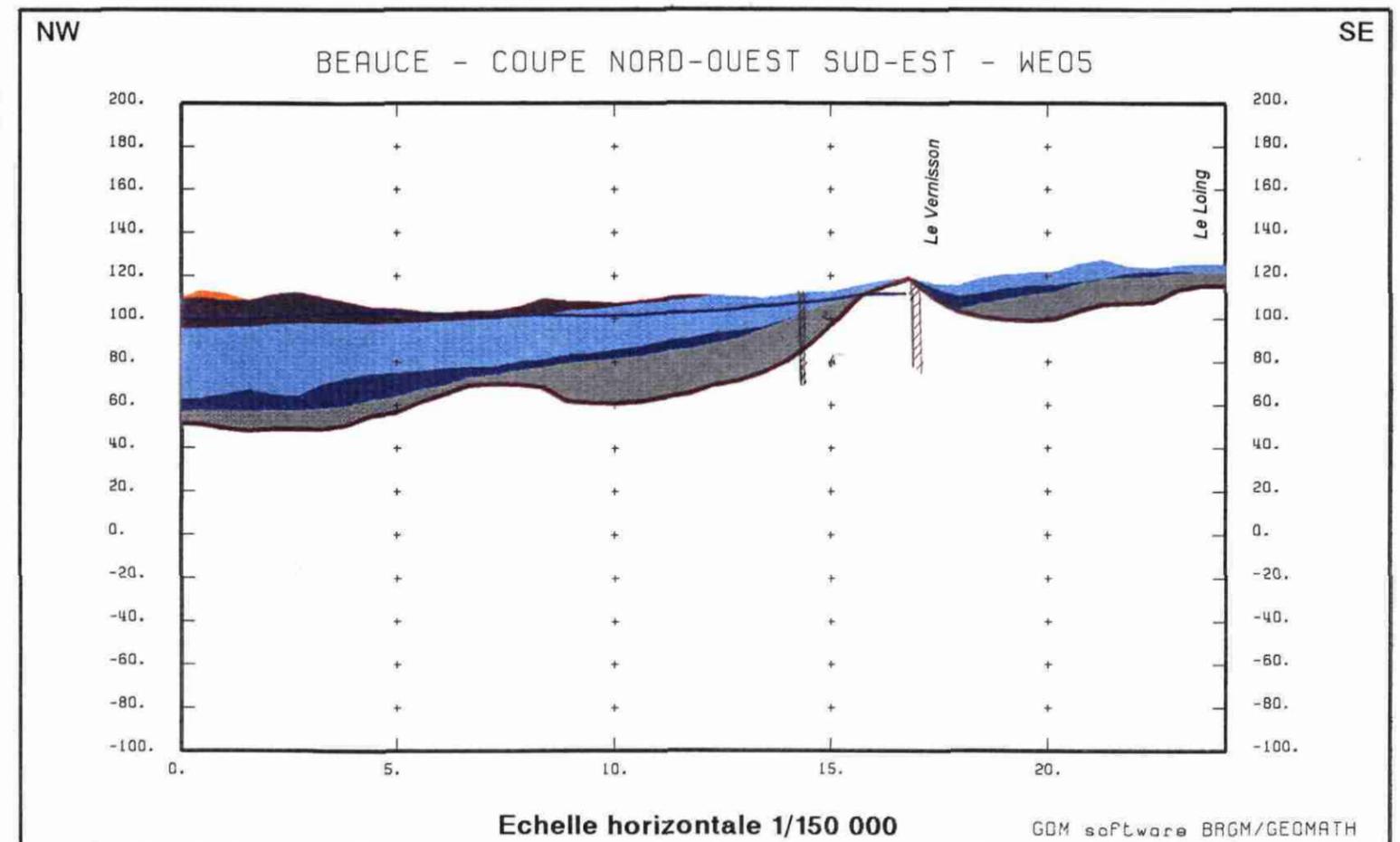
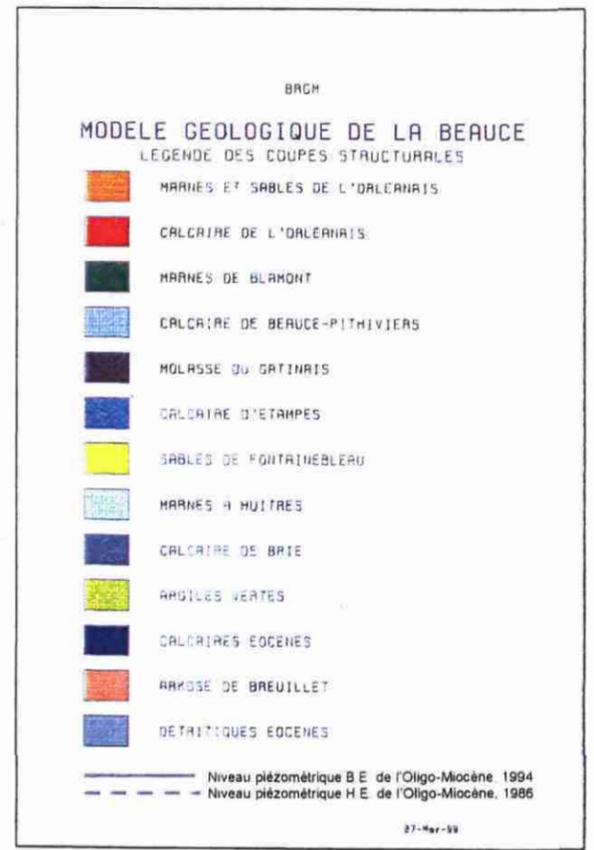
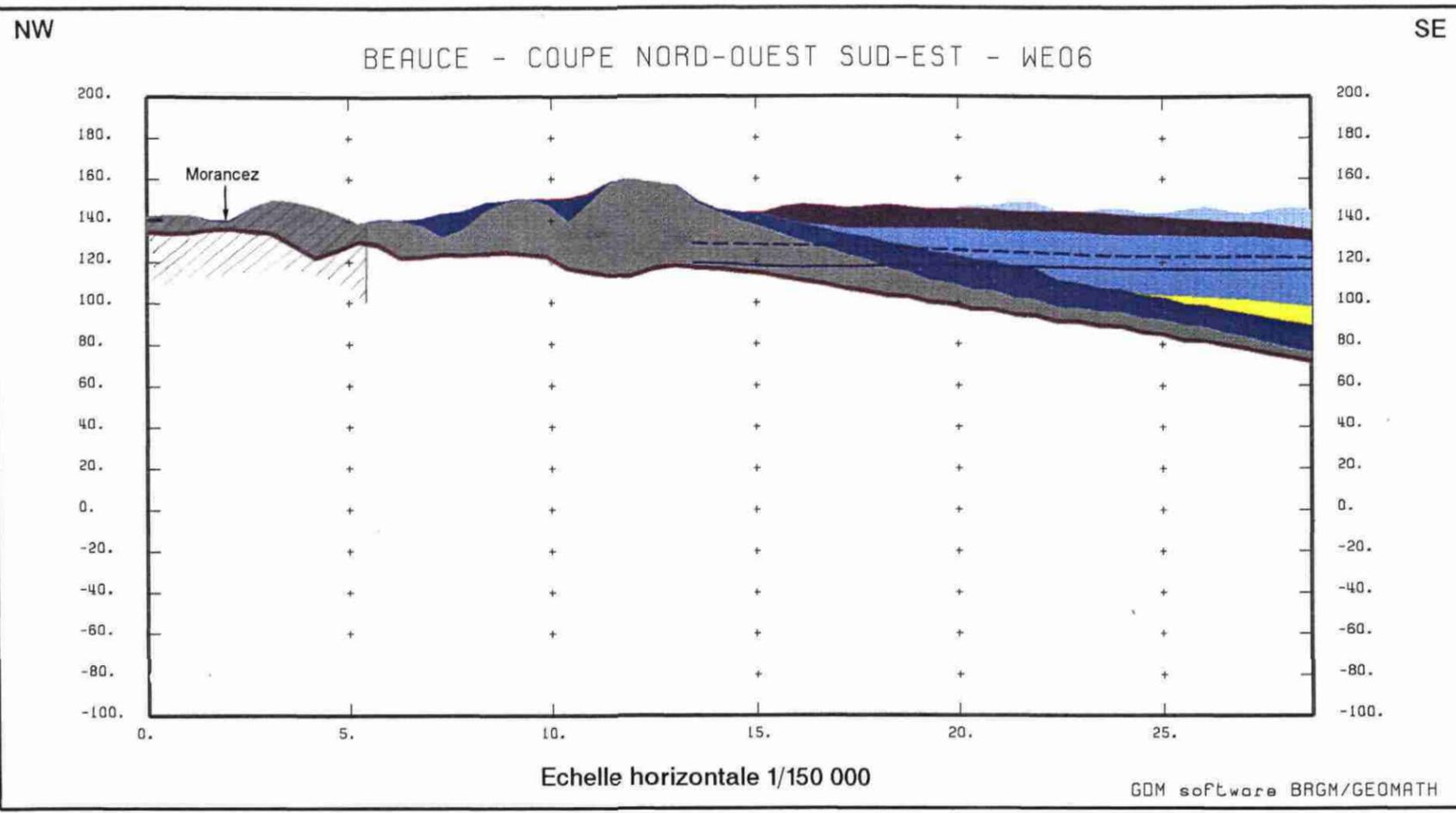
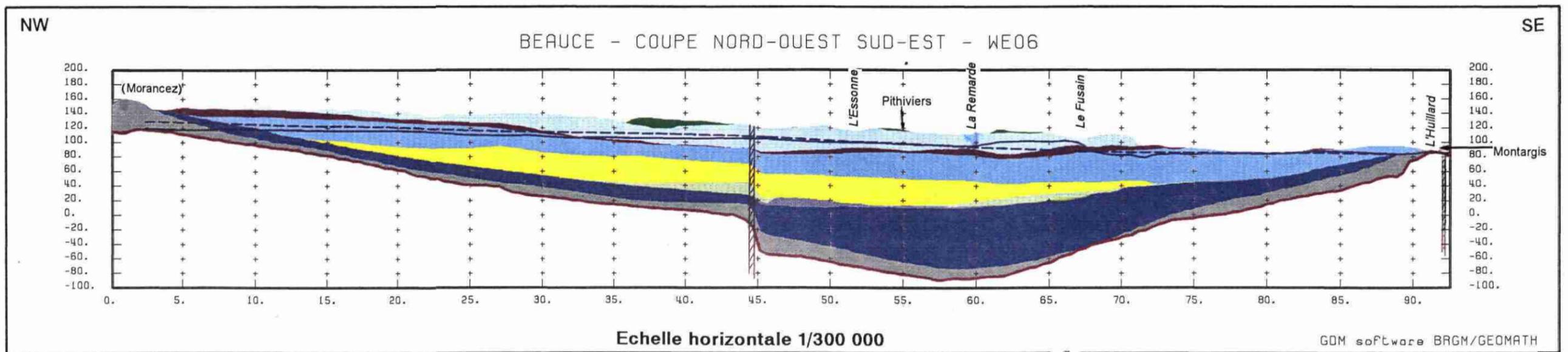


Fig. 1.3.1.e bis – Agrandissement à 1/150 000 des terminaisons NW et SE.

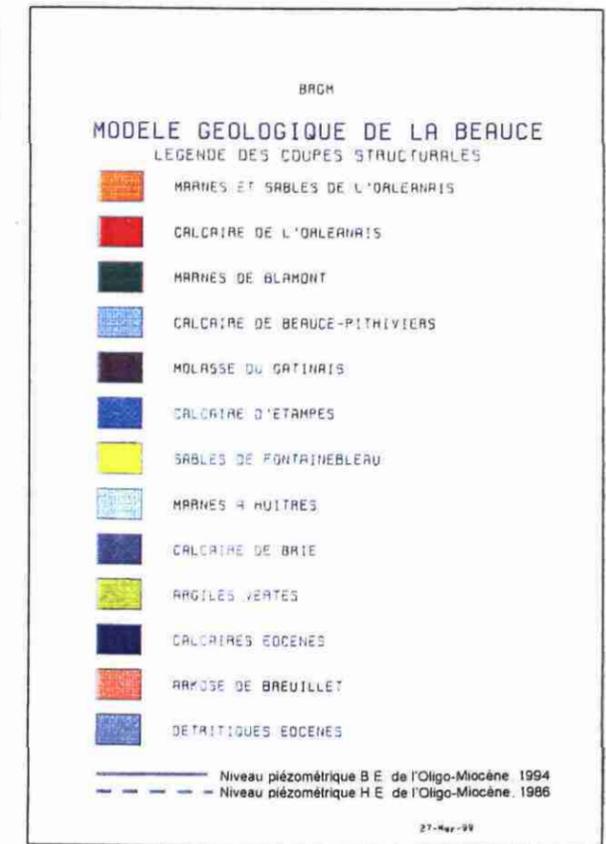
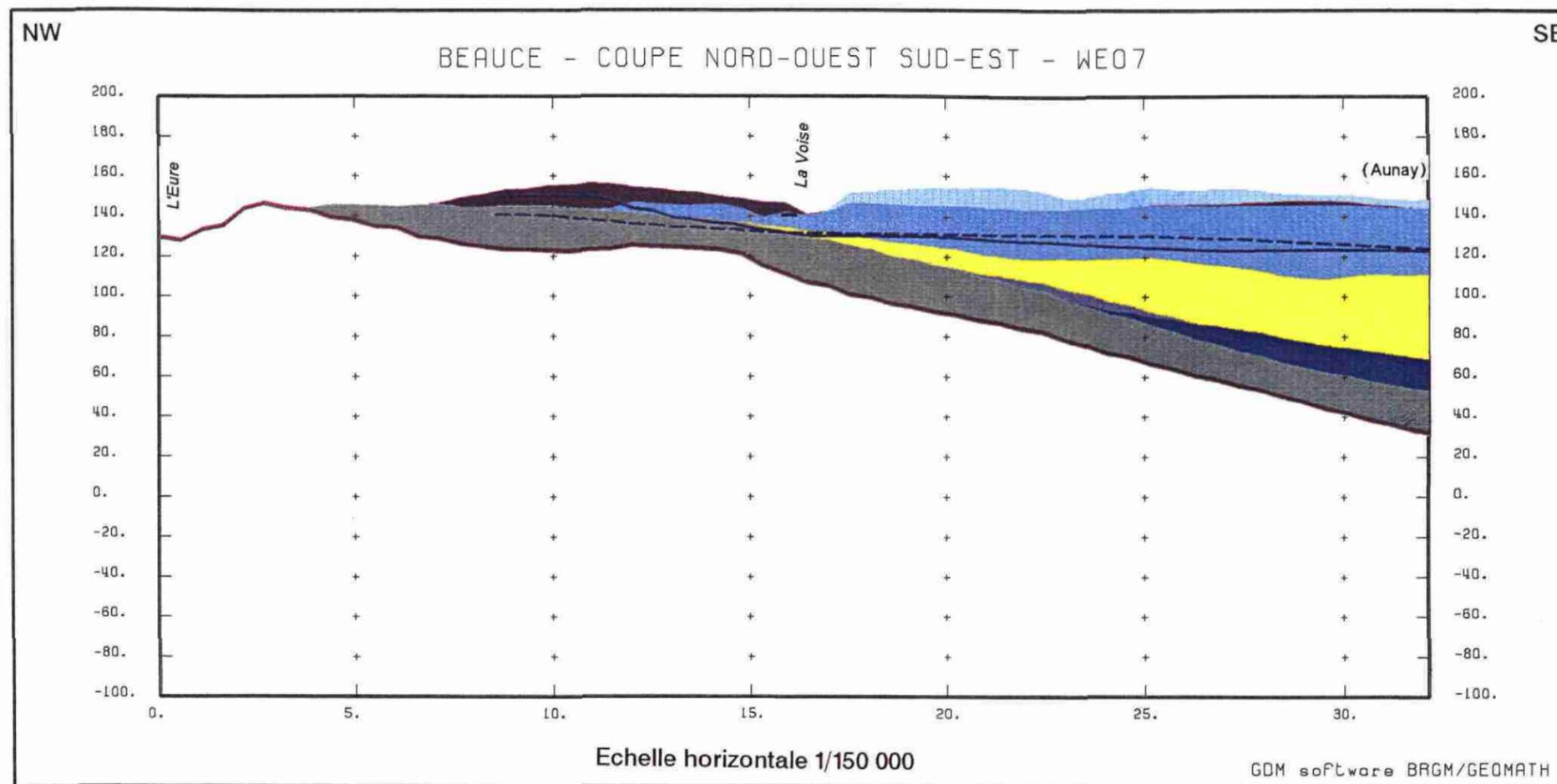




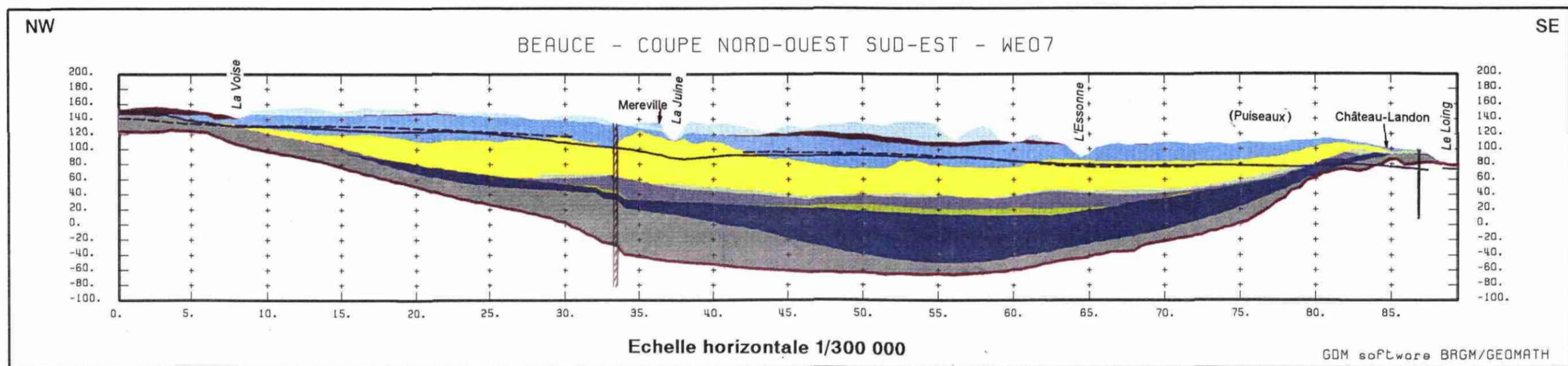
Agrandissement à 1/150 000 de la terminaison de la coupe vers le NW.



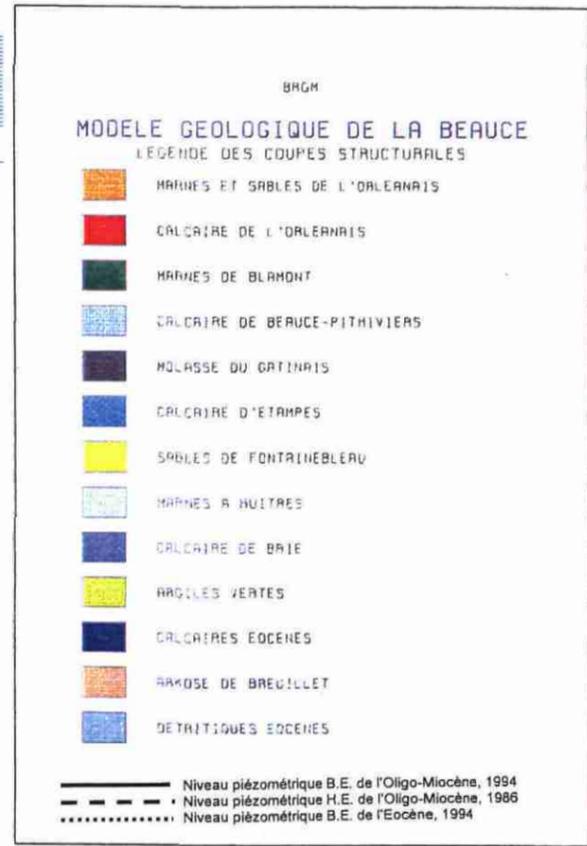
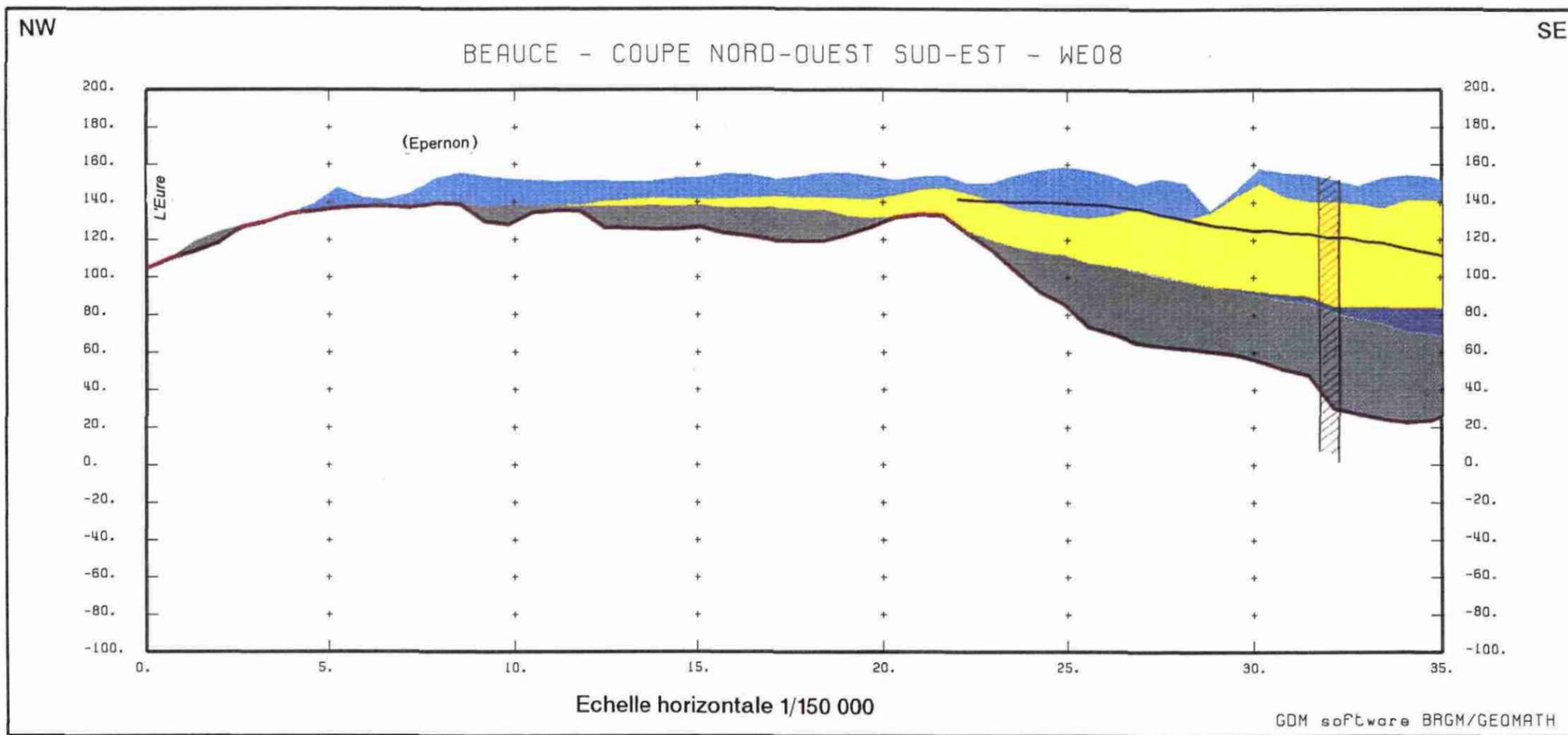
*Fig. 1.3.1.f - Coupe stratigraphique SW-SE n° 6.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



Agrandissement à 1/150 000 de la terminaison de la coupe vers le NW.



*Fig. 1.3.1.g - Coupe stratigraphique NW-SE n° 7.
 (la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



Agrandissement à 1/150 000 de la terminaison de la coupe vers le NW.

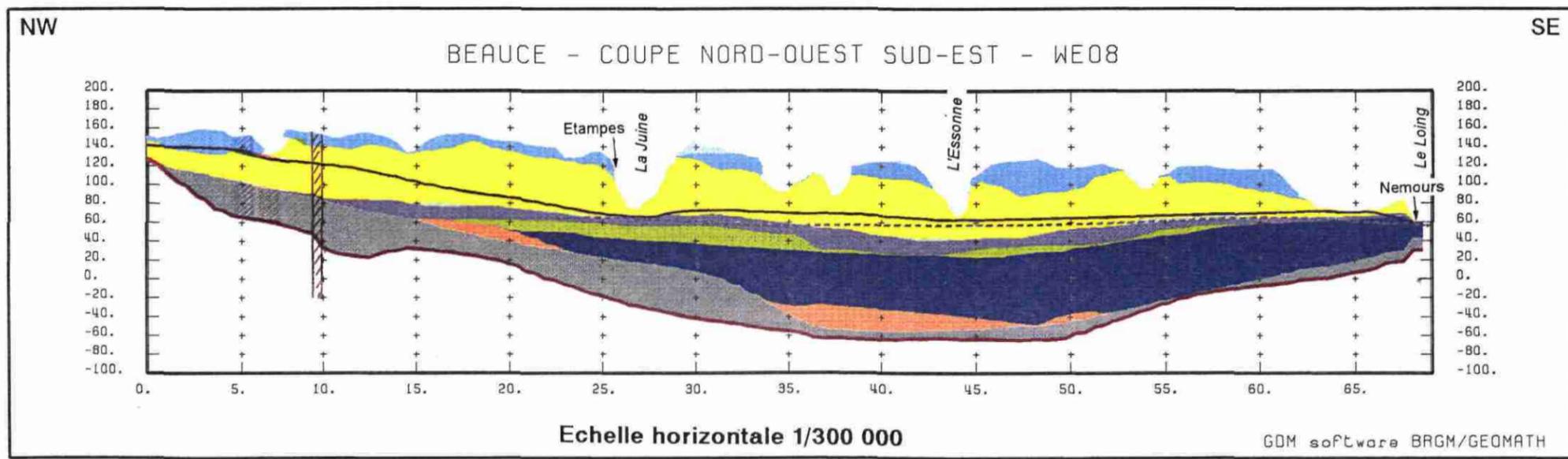
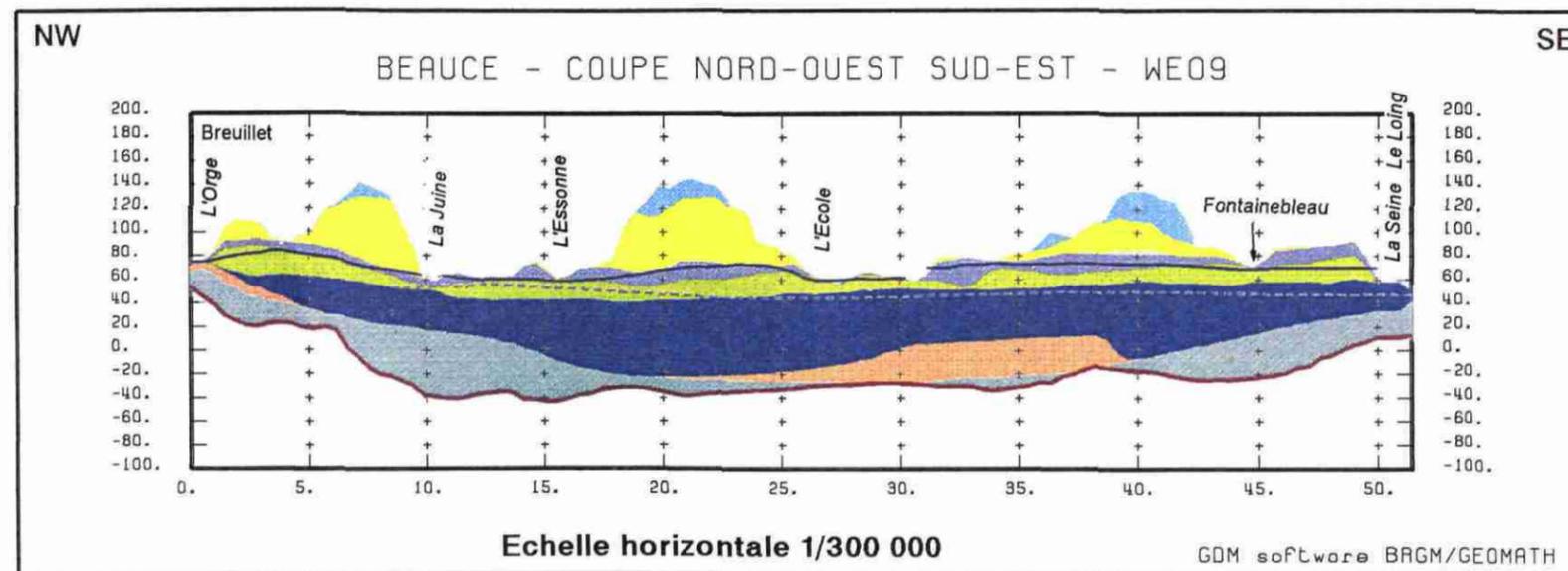
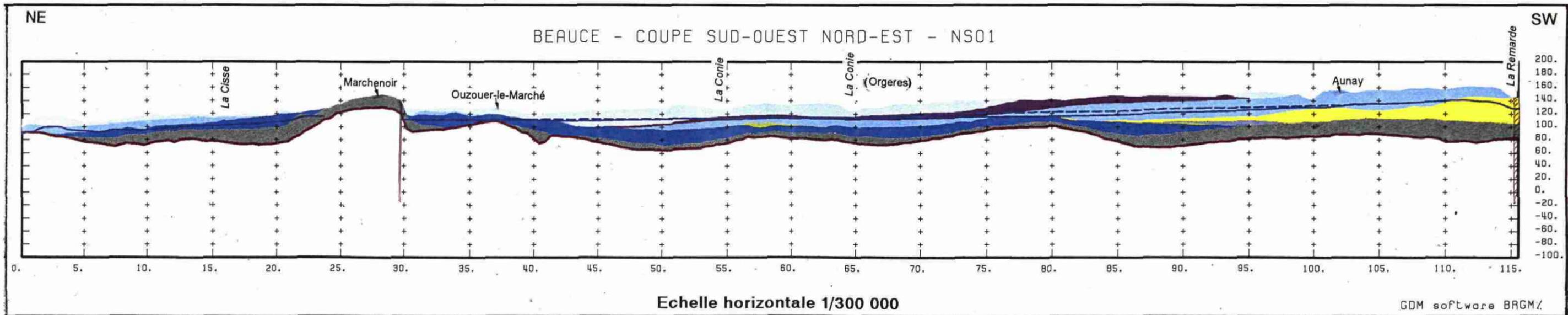


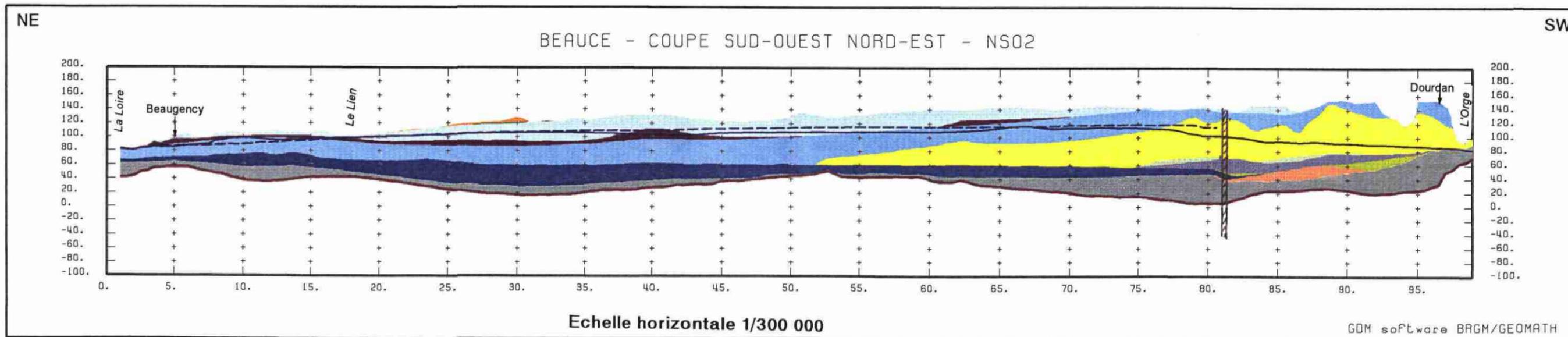
Fig. 1.3.1.h - Coupe stratigraphique NW-SE n° 8.
 (la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).



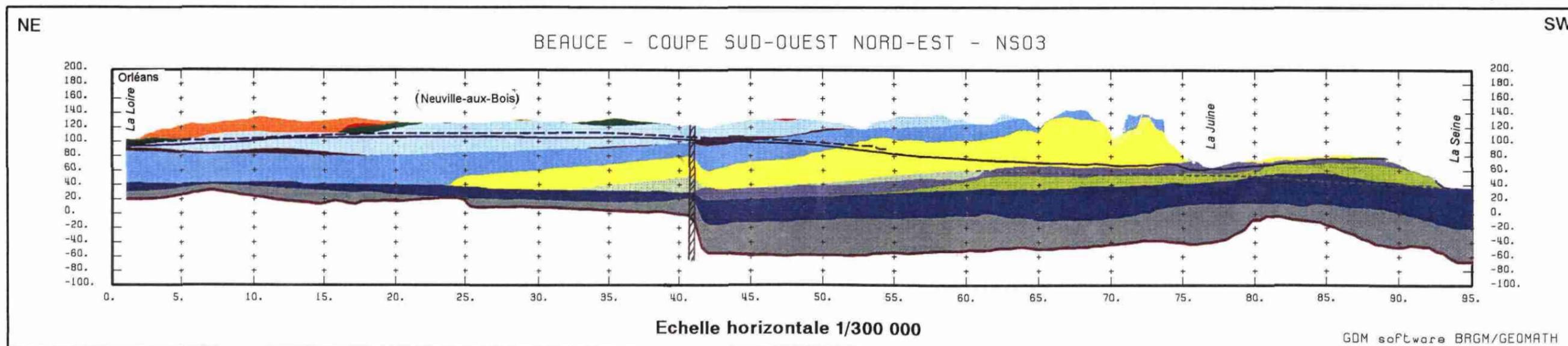
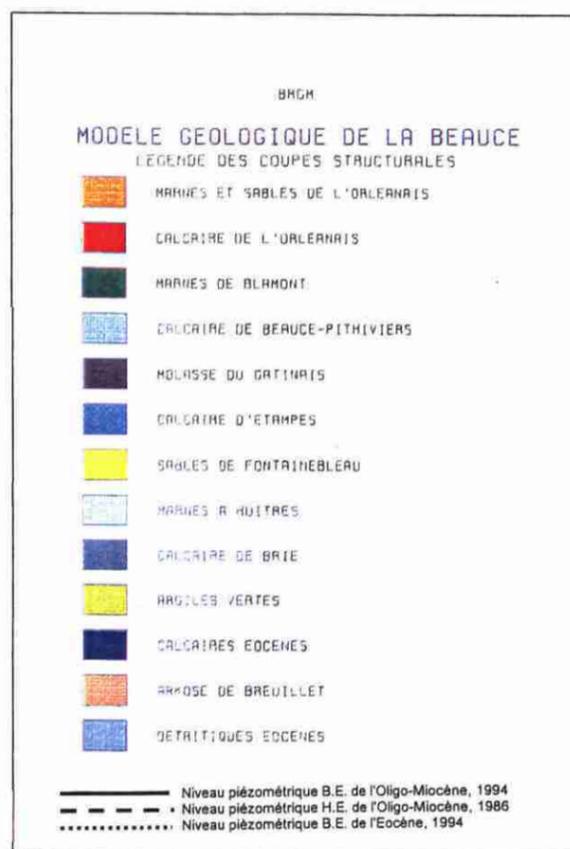
*Fig. 1.3.1.i - Coupe stratigraphique NW-SE n° 9.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



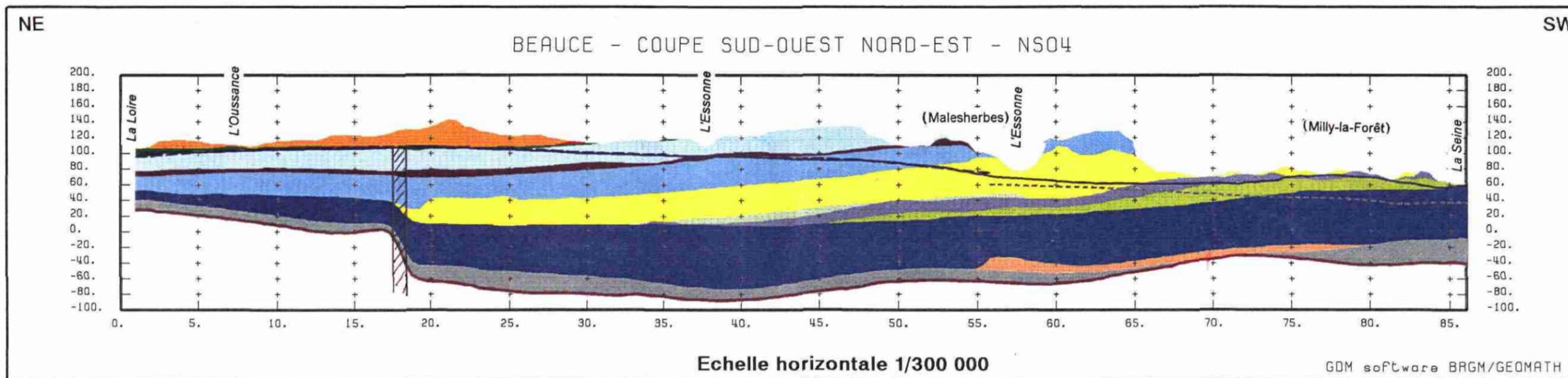
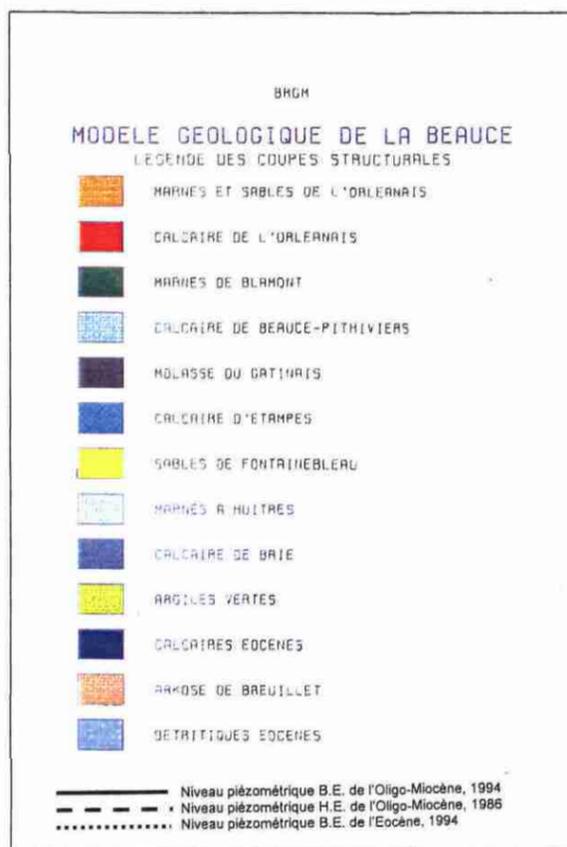
*Fig. 1.3.1.j - Coupe stratigraphique NE-SW n° 1.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



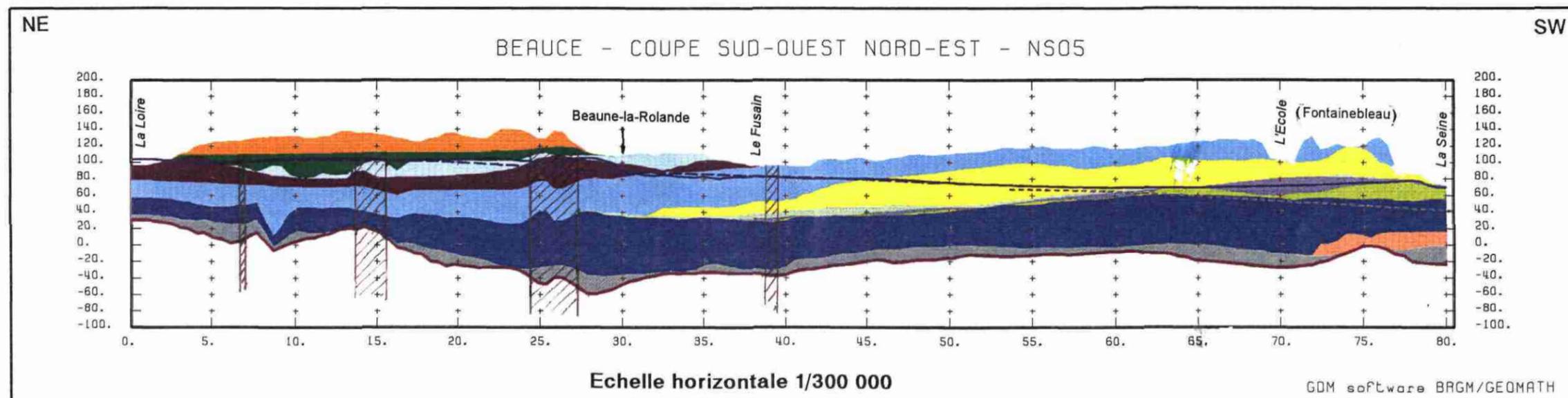
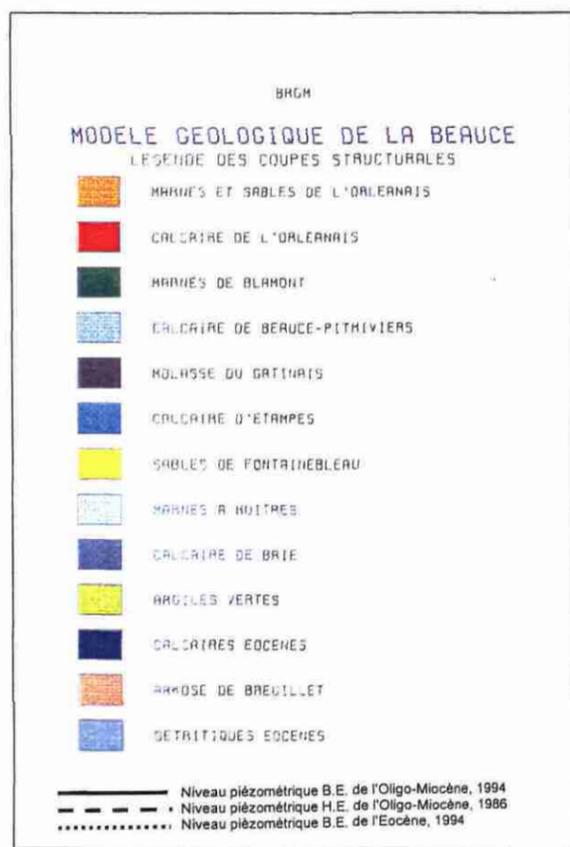
*Fig. 1.3.1.k - Coupe stratigraphique NE-SW n° 2.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



*Fig. 1.3.1.1 - Coupe stratigraphique NE-SW n° 3.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



*Fig. 1.3.1.m - Coupe stratigraphique NE-SW n° 4.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*



*Fig. 1.3.1.n - Coupe stratigraphique NE-SW n° 5.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*

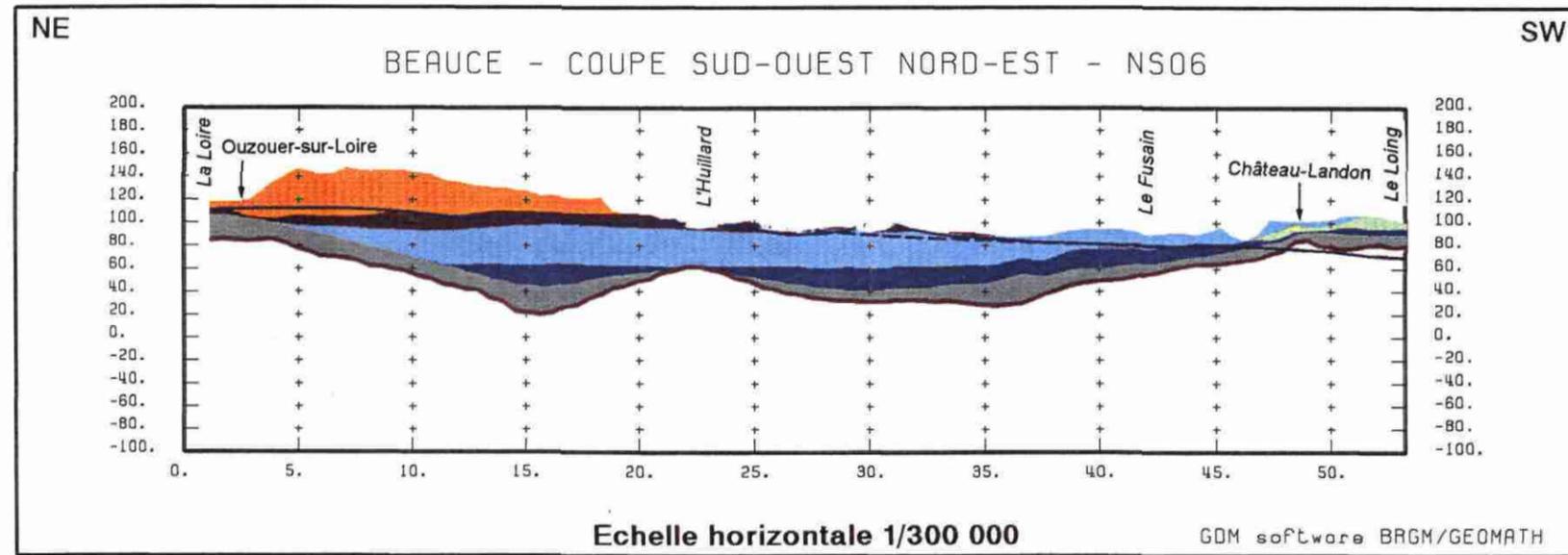
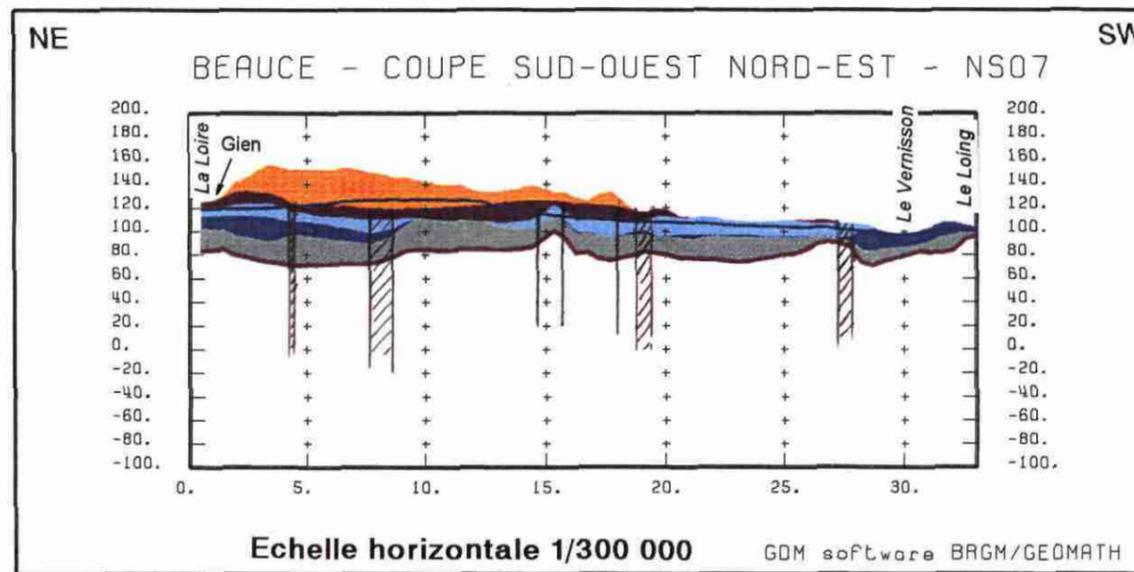


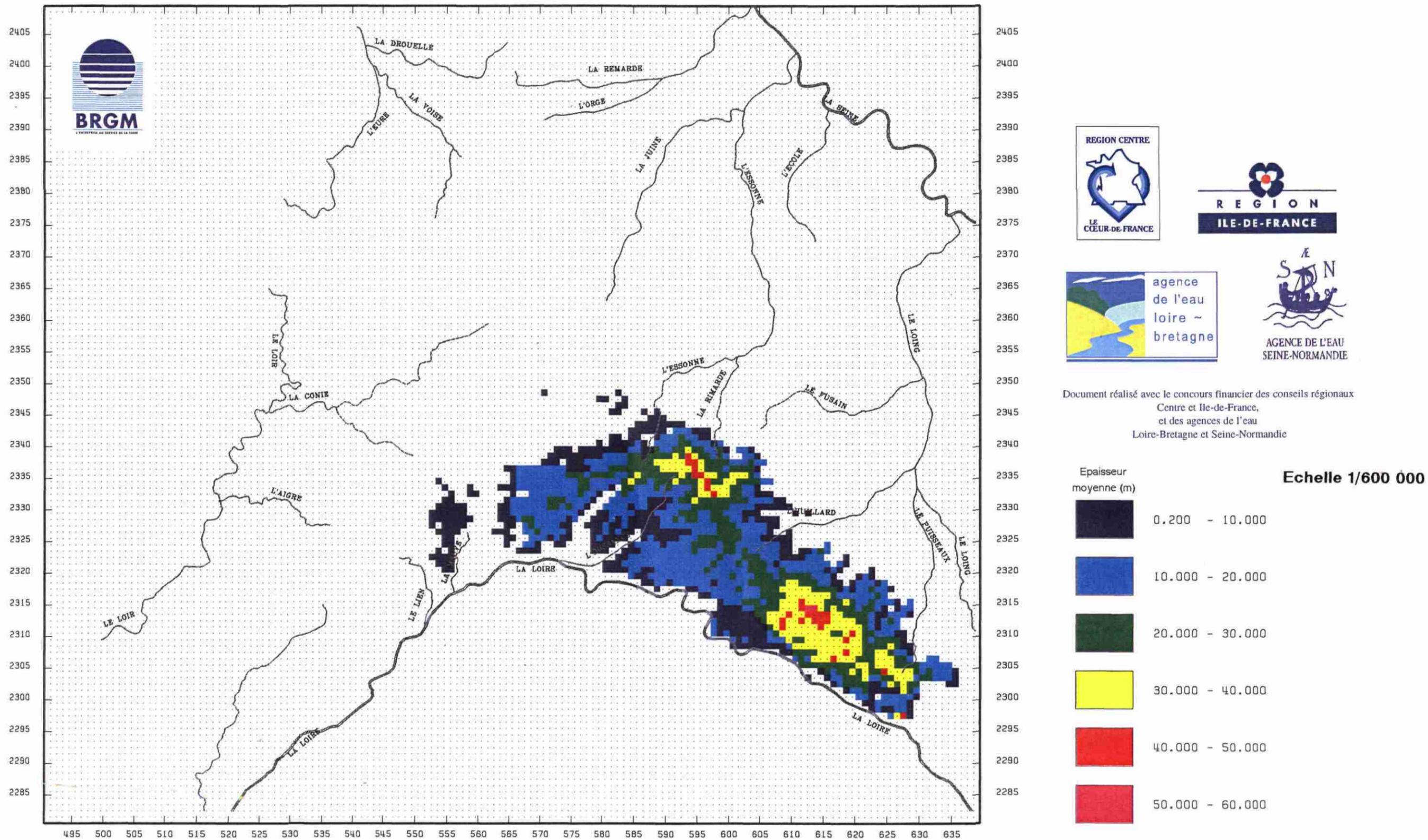
Fig. 1.3.1.o - Coupe stratigraphique NE-SW n° 6.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).



*Fig. 1.3.1.p - Coupe stratigraphique NE-SW n° 7.
(la situation de la coupe est mentionnée sur la fig. 1.3.1).*

EPAISSEUR DES DETRITIQUES MIOCENES

Fig. 1.3.2.a - Carte isopache des formations détritiques miocènes.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

EPAISSEUR DES CALCAIRES DE L'ORLEANAIS

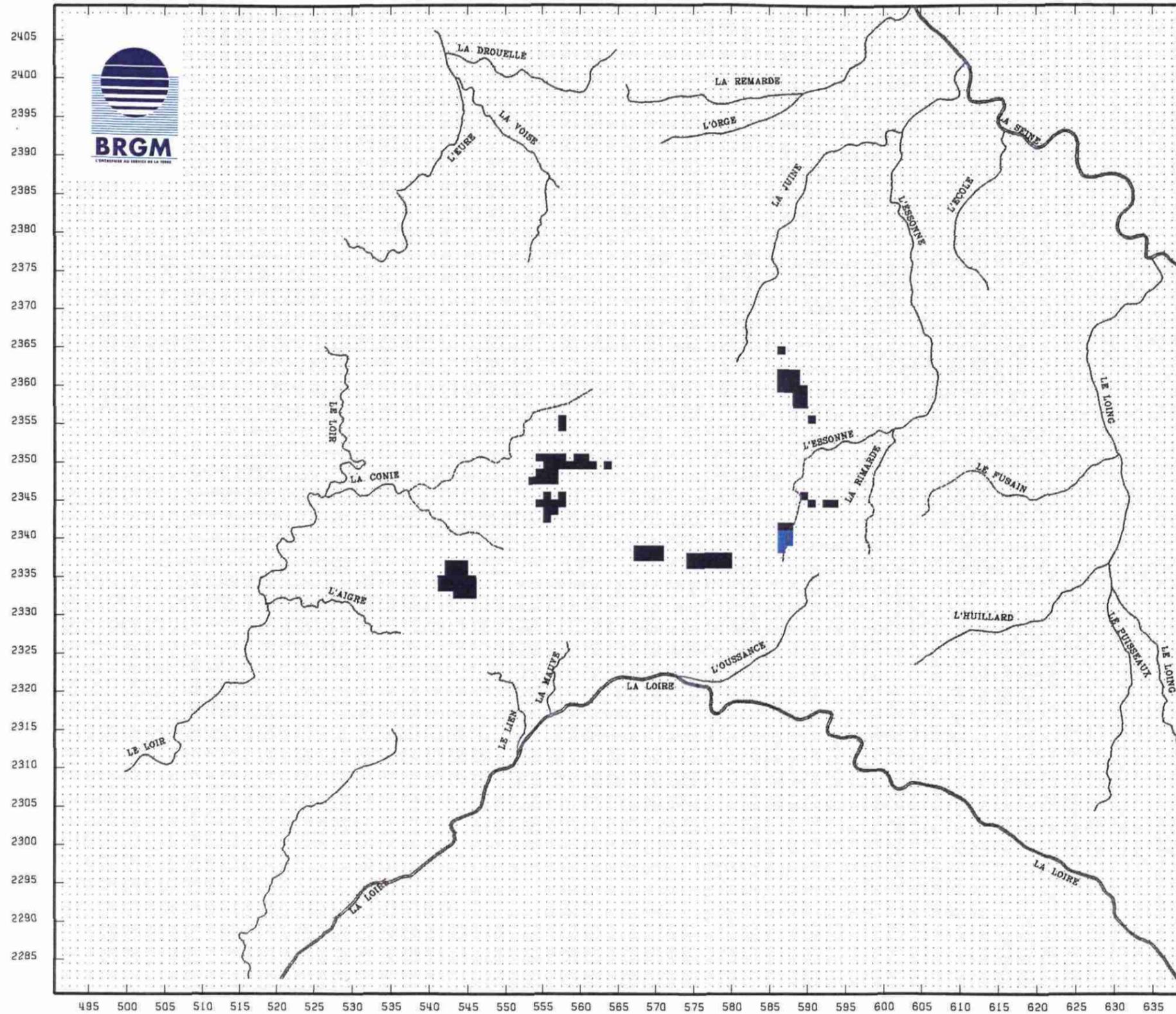
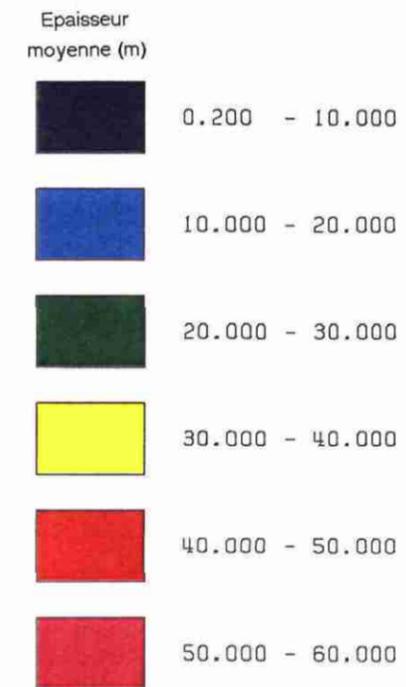


Fig. 1.3.2.b - Carte isopache des calcaires de l'Orléanais.

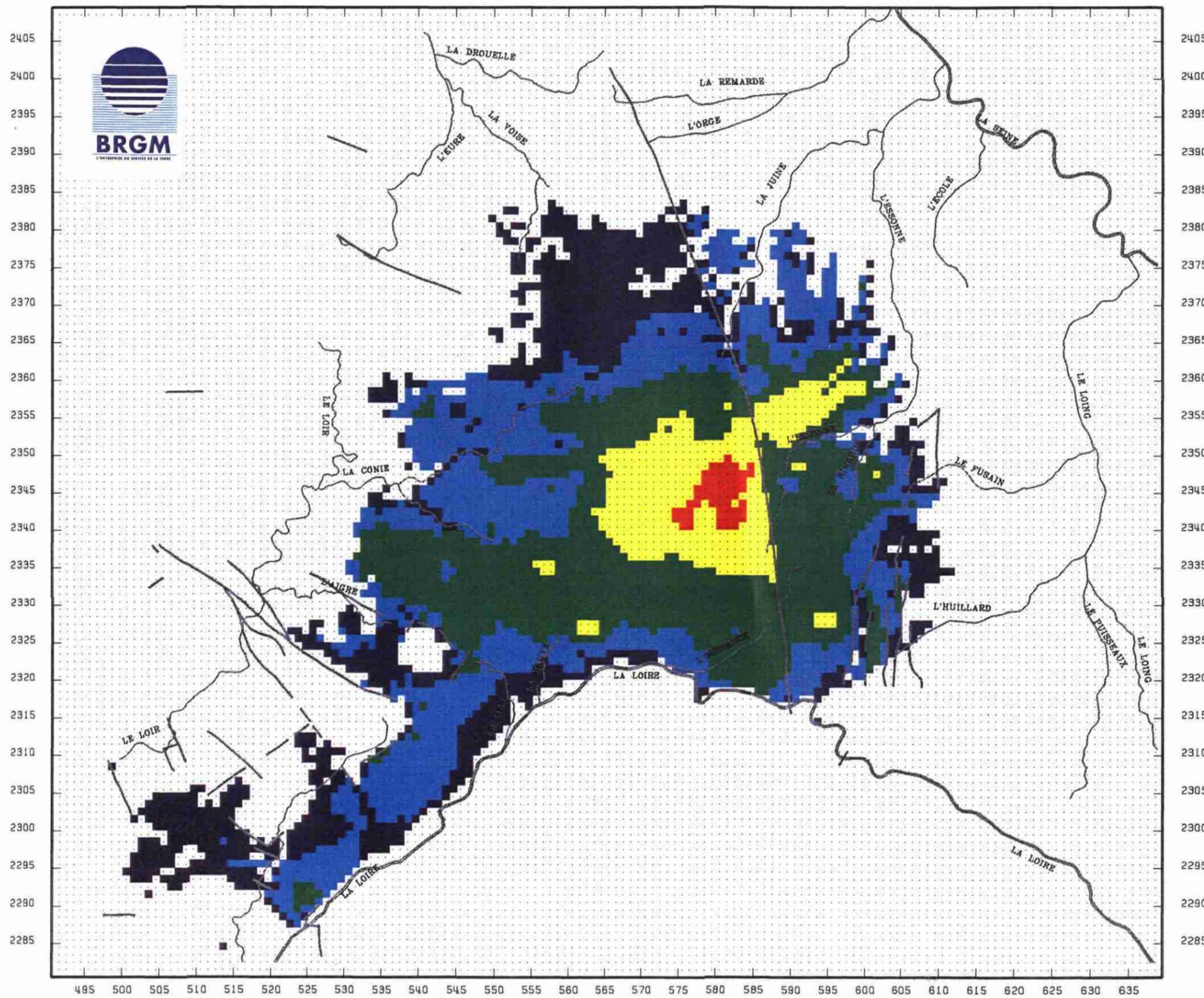


Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie



EPAISSEUR DU CALCAIRE DE BEauce-PITHIVIERS

Fig. 1.3.2.d - Carte isopache du calcaire de Pithiviers.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

Echelle 1/600 000

| Epaisseur moyenne (m) | Range (m) |
|-----------------------|-----------------|
| Black | 0.200 - 10.000 |
| Blue | 10.000 - 20.000 |
| Green | 20.000 - 30.000 |
| Yellow | 30.000 - 40.000 |
| Red | 40.000 - 50.000 |
| Dark Red | 50.000 - 60.000 |

EPAISSEUR DE LA MOLASSE DU GATINAIS

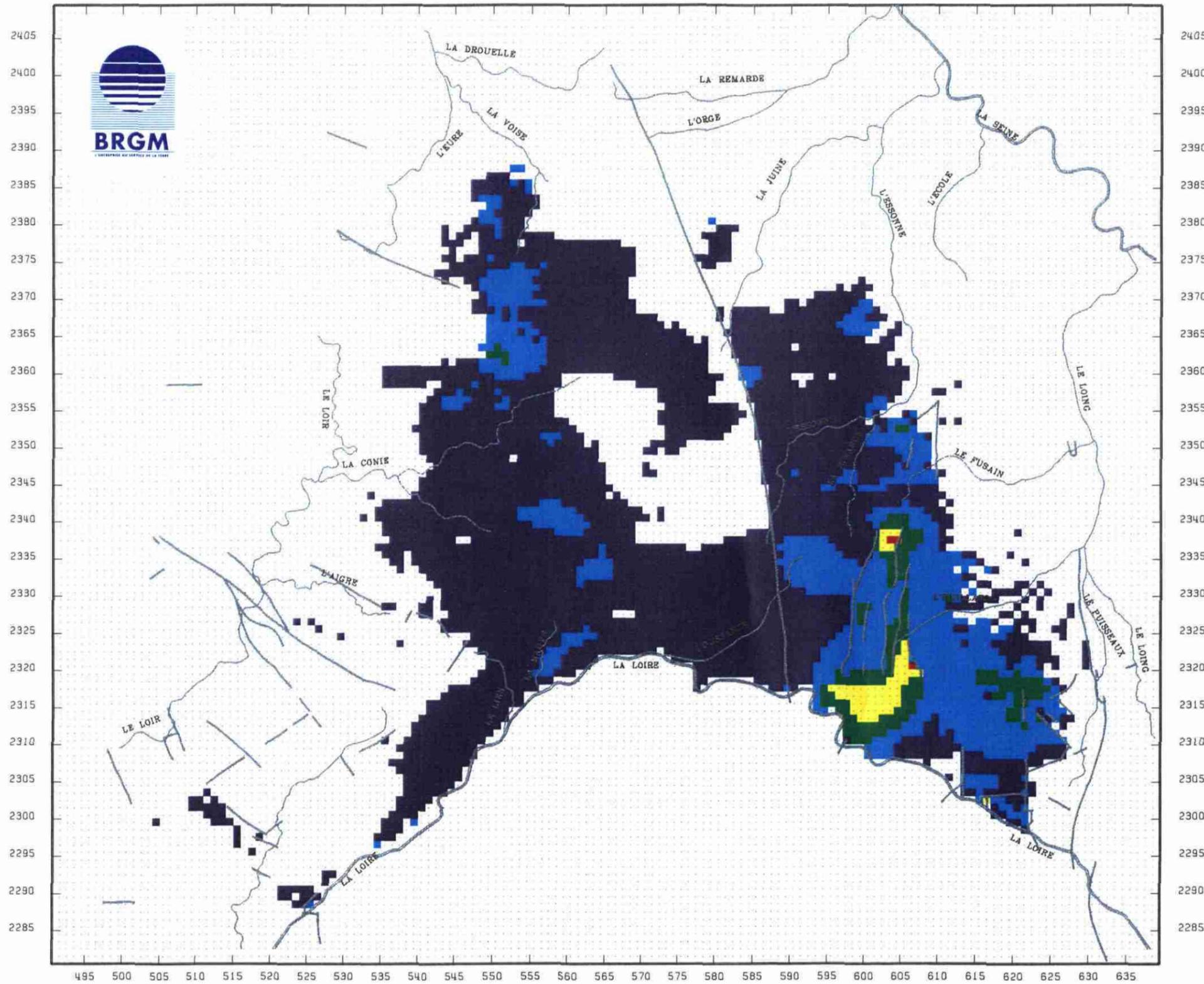


Fig. 1.3.2.e - Carte isopache de la molasse du gâtinais.



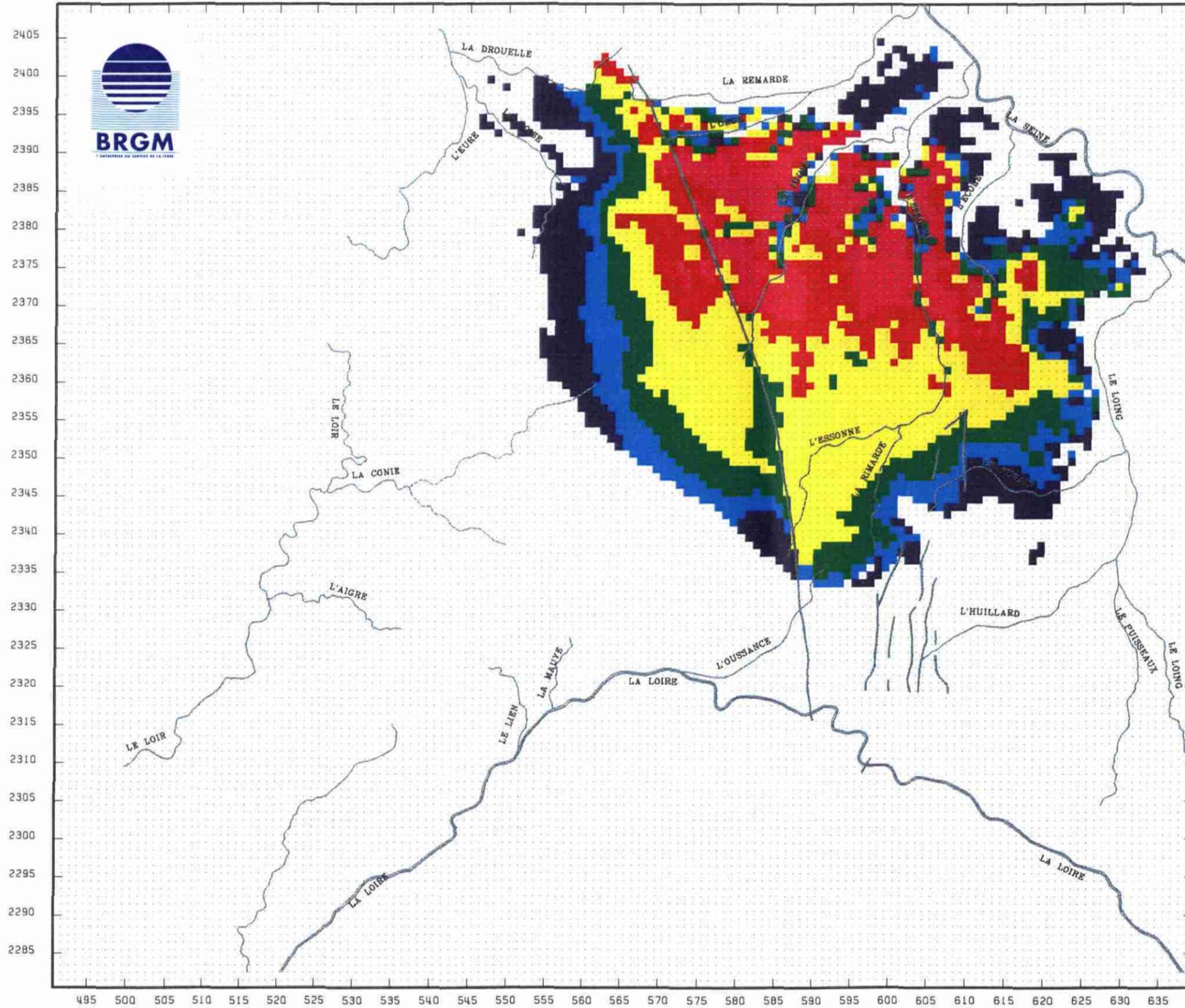
Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

| Epaisseur moyenne (m) | |
|-----------------------|--|
| 0.200 - 10.000 | |
| 10.000 - 20.000 | |
| 20.000 - 30.000 | |
| 30.000 - 40.000 | |
| 40.000 - 50.000 | |
| 50.000 - 60.000 | |

Echelle 1/600 000

EPAISSEUR DES SABLES DE FONTAINEBLEAU

Fig. 1.3.2.g - Carte isopache des sables de Fontainebleau.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

| Echelle 1/600 000 | |
|-----------------------|--|
| Epaisseur moyenne (m) | |
| 0.200 ~ 10.000 | |
| 10.000 ~ 20.000 | |
| 20.000 ~ 30.000 | |
| 30.000 ~ 40.000 | |
| 40.000 ~ 50.000 | |
| 50.000 ~ 80.000 | |

ÉPAISSEUR DES MARNES À HUITRES

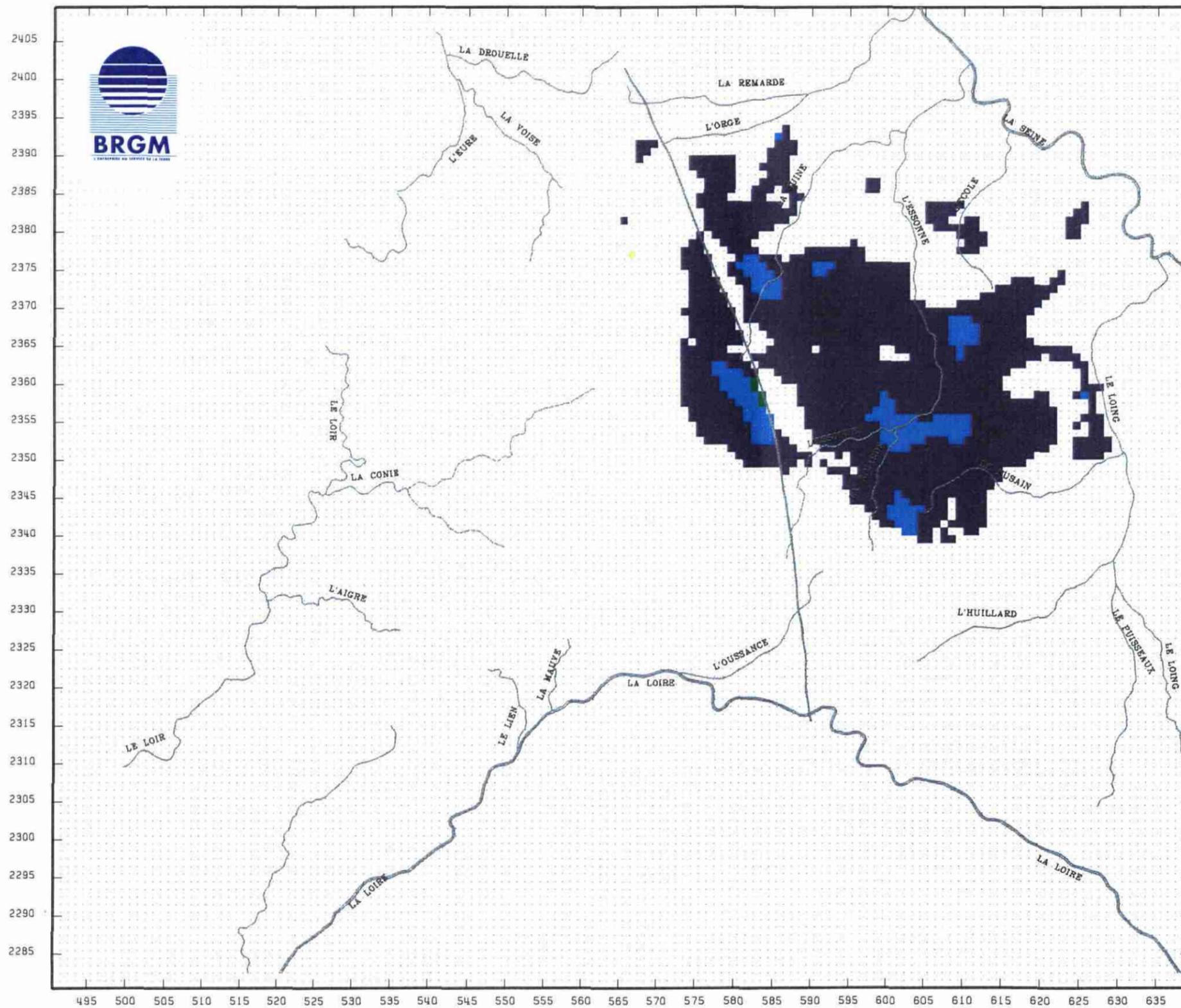
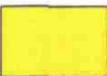


Fig. 1.3.2.h - Carte isopache des marnes à huîtres.

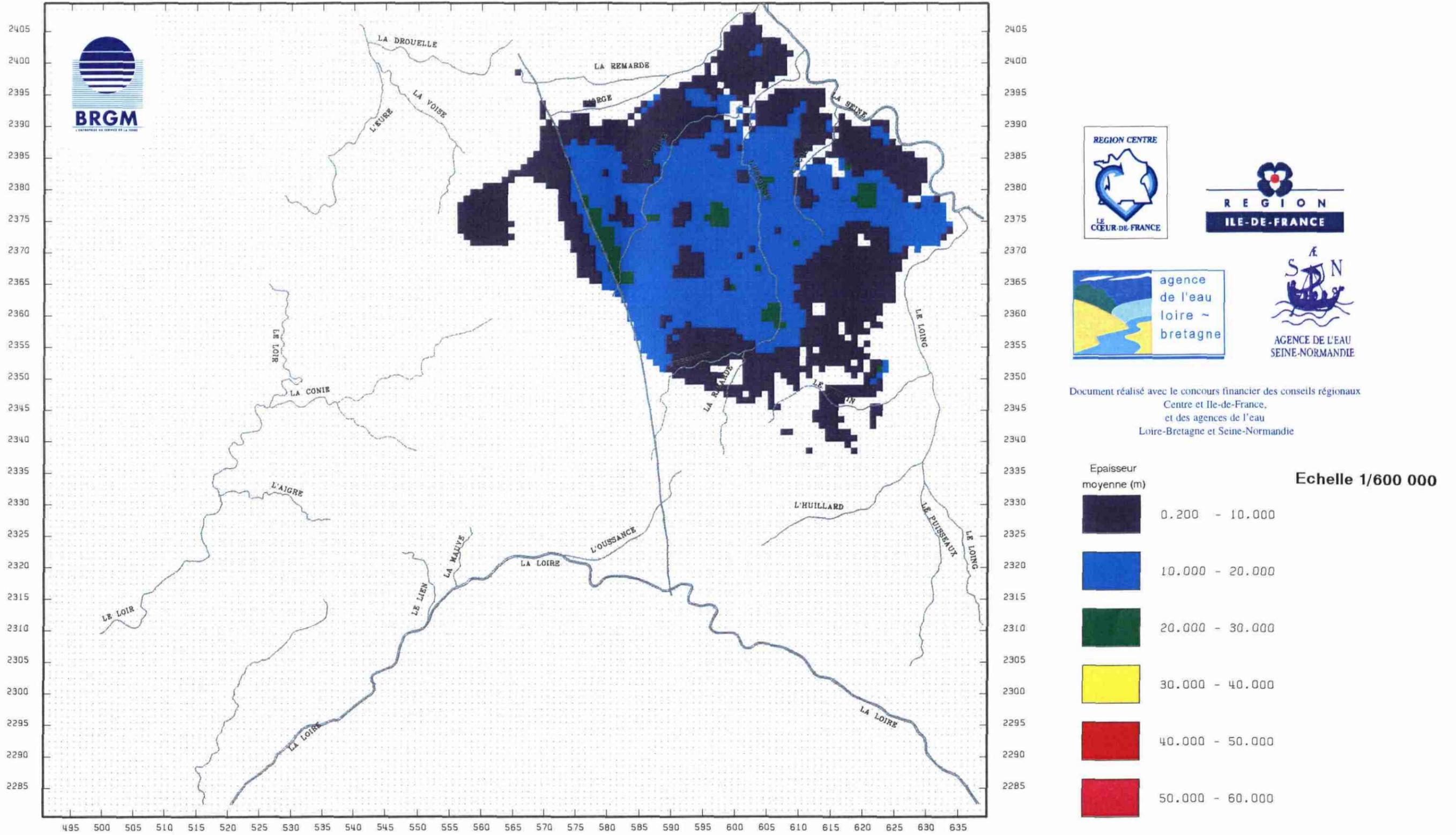


Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

| Echelle 1/600 000 | |
|---|-----------------|
| Épaisseur moyenne (m) | |
|  | 0.200 - 10.000 |
|  | 10.000 - 20.000 |
|  | 20.000 - 30.000 |
|  | 30.000 - 40.000 |
|  | 40.000 - 50.000 |
|  | 50.000 - 60.000 |

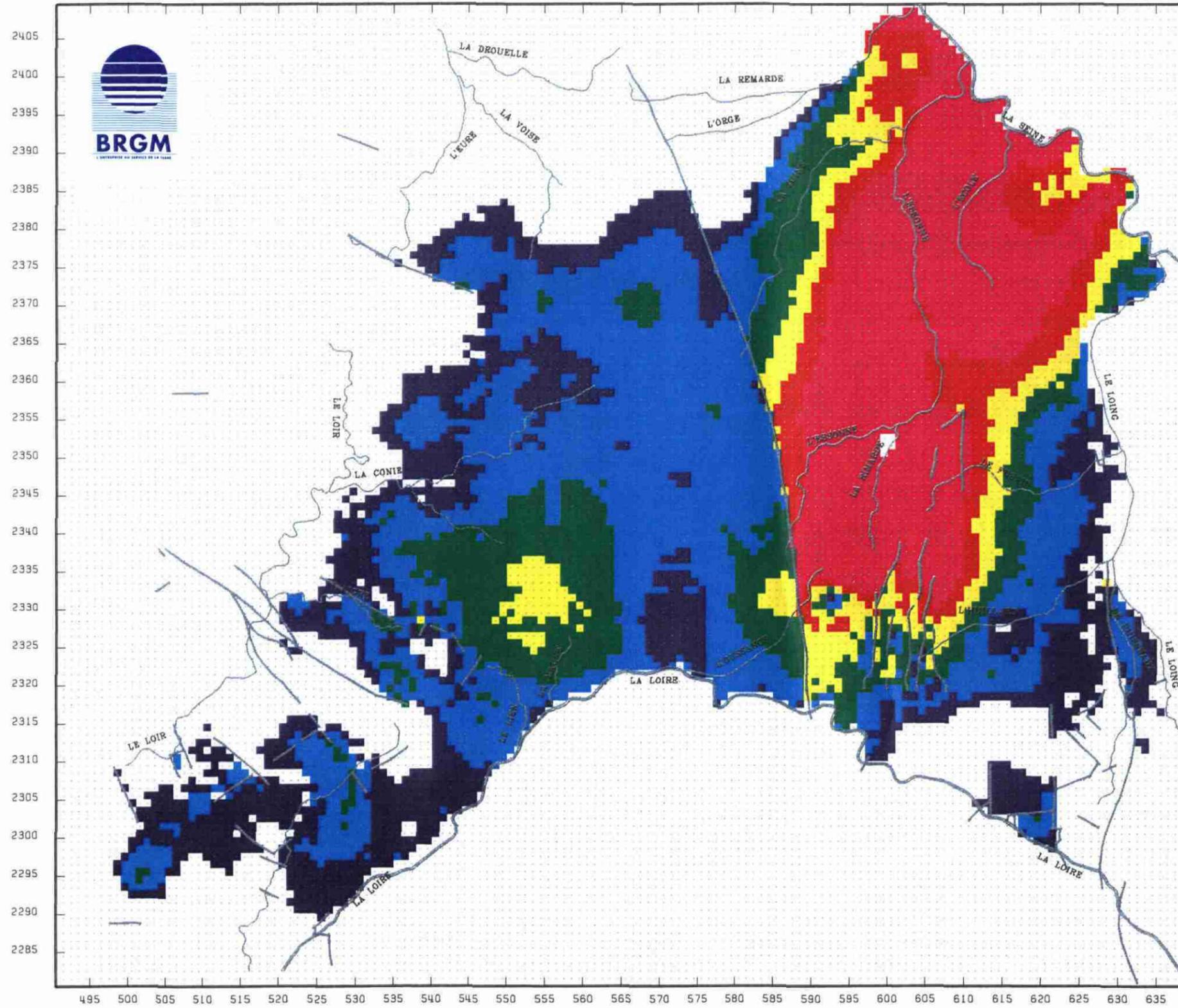
EPAISSEUR DU CALCAIRE DE BRIE

Fig. 1.3.2.i - Carte isopache du calcaire de Brie.

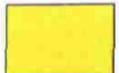


ÉPAISSEUR DES CALCAIRES ÉOCÈNES

Fig. 1.3.2.k - Carte isopache des calcaires éocènes.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

| Épaisseur moyenne (m) | |
|---|-----------------|
|  | 0.200 - 10.000 |
|  | 10.000 - 20.000 |
|  | 20.000 - 30.000 |
|  | 30.000 - 40.000 |
|  | 40.000 - 50.000 |
|  | 50.000 - 90.000 |

Echelle 1/600 000

EPAISSEUR DE L'ARKOSE DE BREUILLET

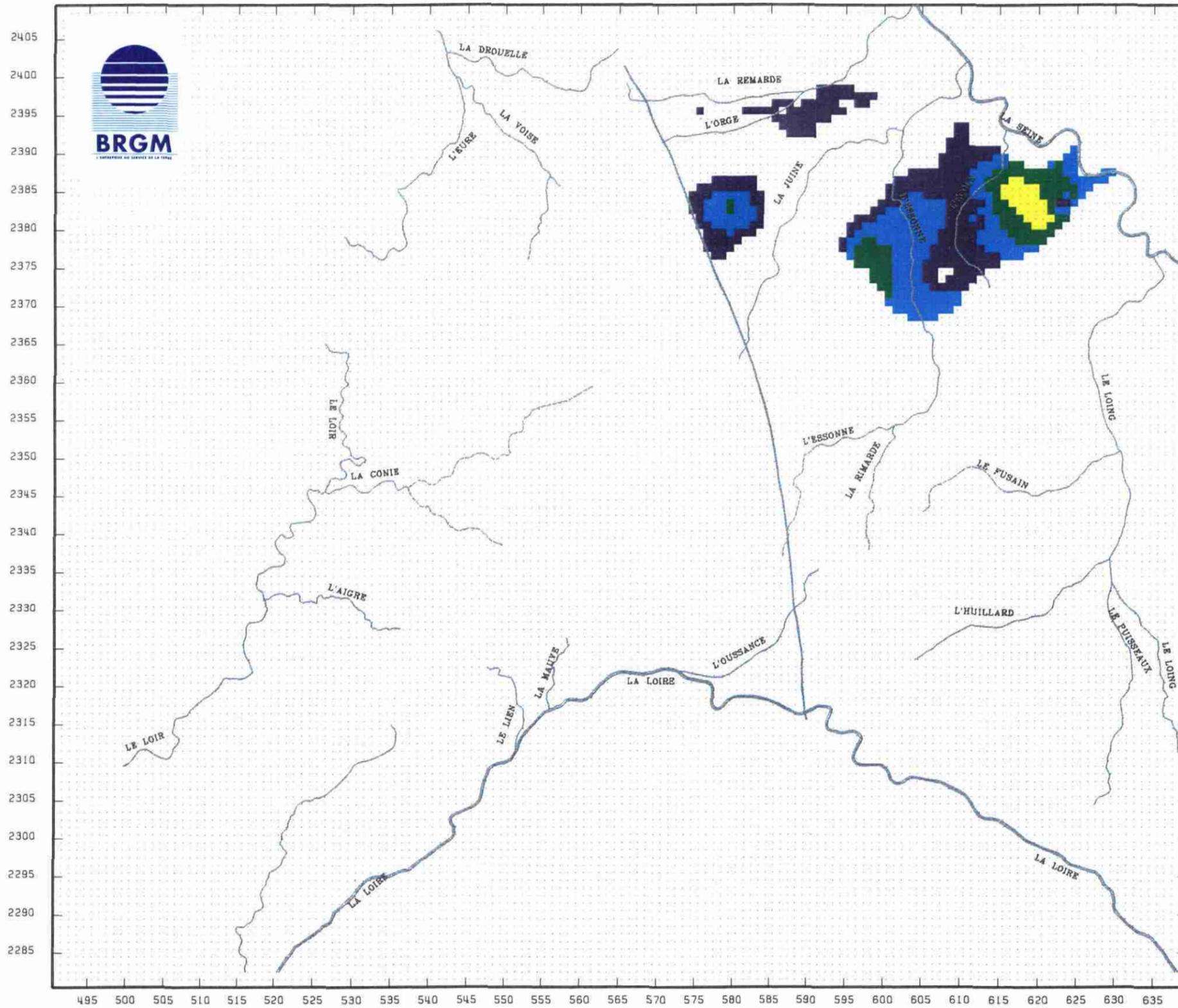


Fig. 1.3.2.1 - Carte isopache de l'arkose de Breuillet.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

| Echelle 1/600 000 | |
|-----------------------|--|
| Epaisseur moyenne (m) | |
| 0.200 - 10.000 | |
| 10.000 - 20.000 | |
| 20.000 - 30.000 | |
| 30.000 - 40.000 | |
| 40.000 - 50.000 | |
| 50.000 - 60.000 | |

EPAISSEUR DES ARGILES A SILEX ET DETRITIQUES EOCENES

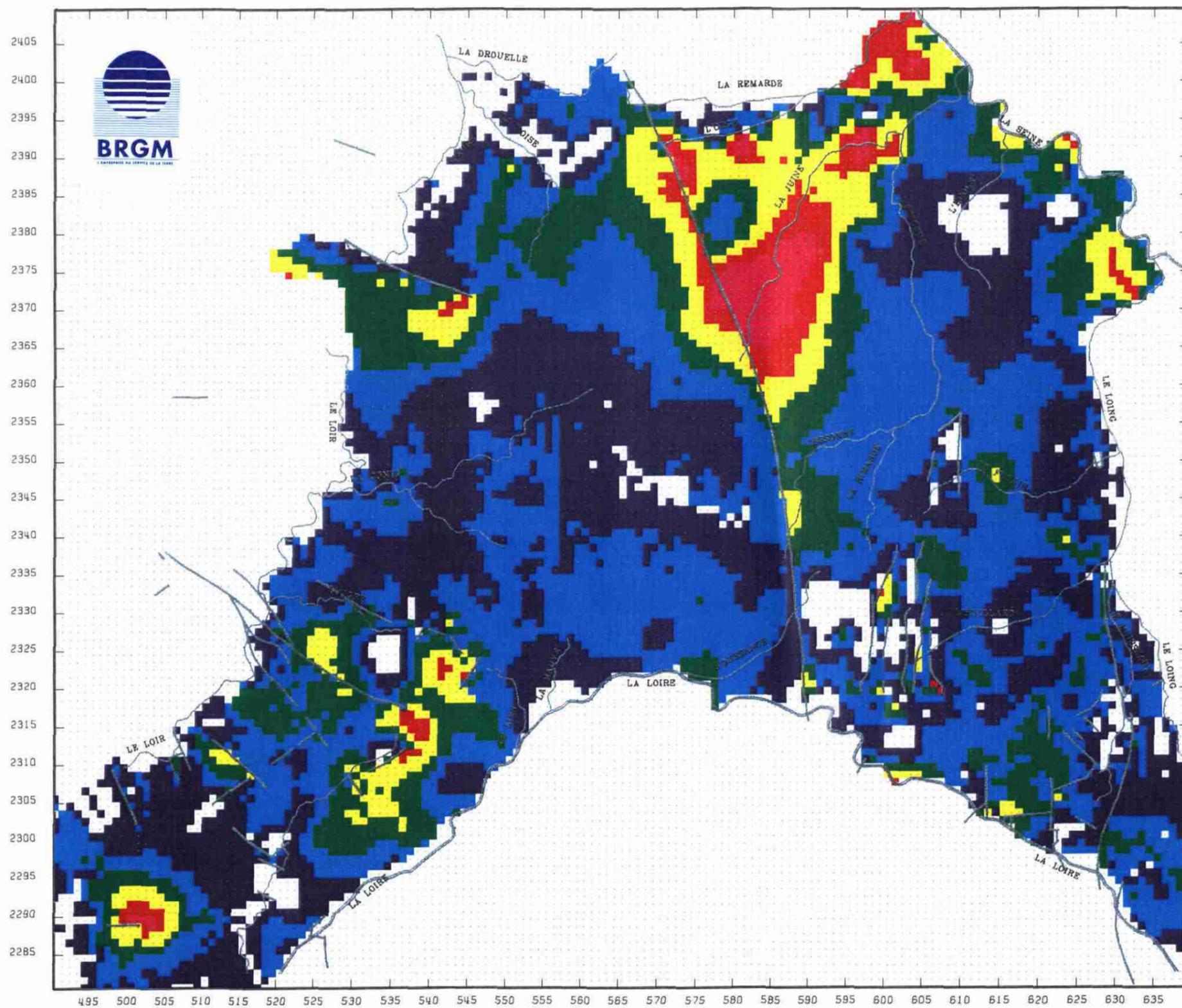


Fig. 1.3.2.m - Carte isopache des argiles à silex et des formations détritiques éocènes.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

| Epaisseur moyenne (m) | |
|-----------------------|--|
| 0.200 - 10.000 | |
| 10.000 - 20.000 | |
| 20.000 - 30.000 | |
| 30.000 - 40.000 | |
| 40.000 - 50.000 | |
| 50.000 - 70.000 | |

Echelle 1/600 000



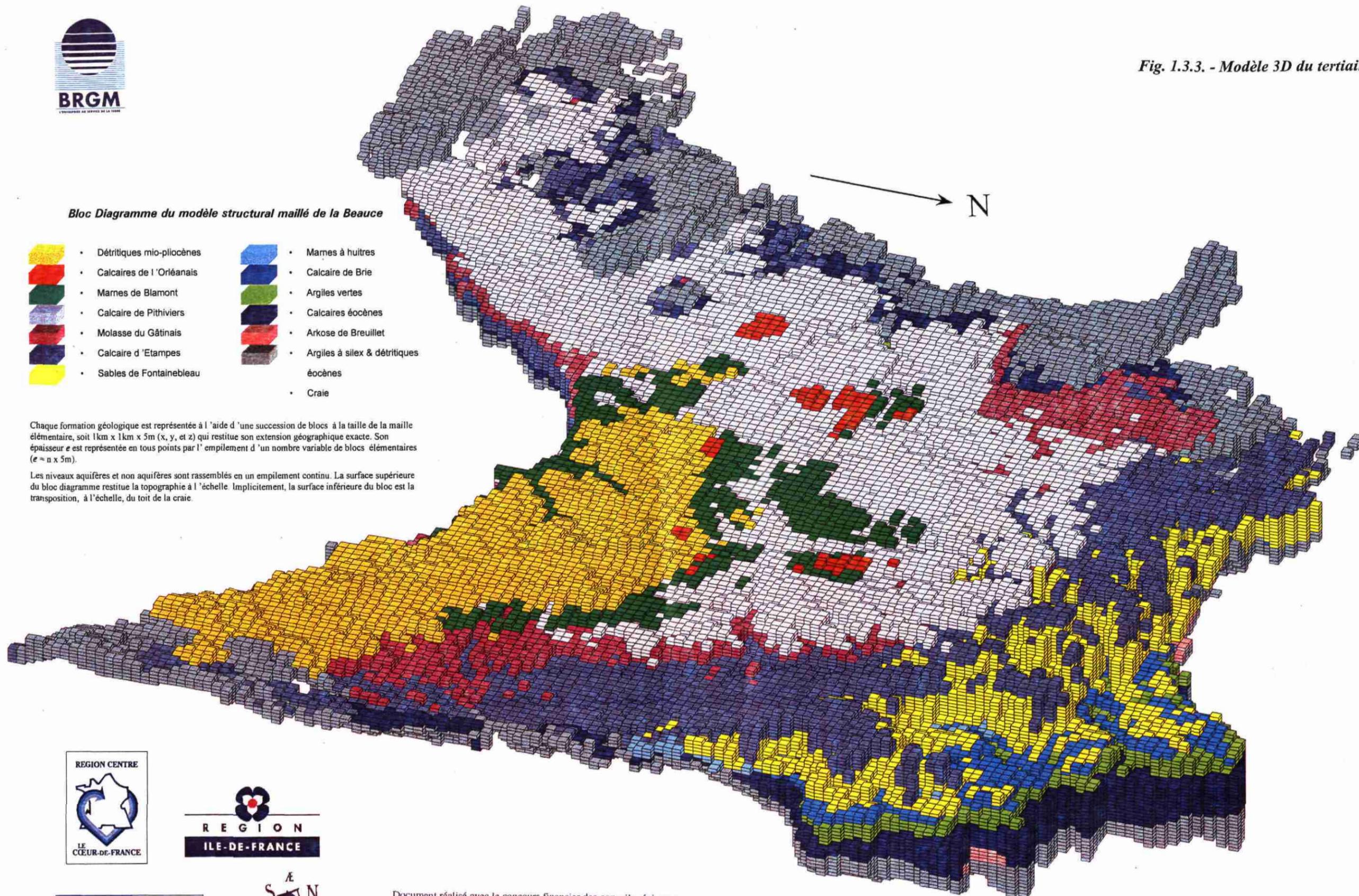
Fig. 1.3.3. - Modèle 3D du tertiaire de Beauce.

Bloc Diagramme du modèle structural maillé de la Beauce

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|---|
|  | • Détritiques mio-pliocènes |  | • Marnes à huîtres |
|  | • Calcaires de l'Orléanais |  | • Calcaire de Brie |
|  | • Marnes de Blamont |  | • Argiles vertes |
|  | • Calcaire de Pithiviers |  | • Calcaires éocènes |
|  | • Molasse du Gâtinais |  | • Arkose de Breuillet |
|  | • Calcaire d'Etampes |  | • Argiles à silex & détritiques éocènes |
|  | • Sables de Fontainebleau |  | • Craie |

Chaque formation géologique est représentée à l'aide d'une succession de blocs à la taille de la maille élémentaire, soit 1km x 1km x 5m (x, y, et z) qui restitue son extension géographique exacte. Son épaisseur e est représentée en tous points par l'empilement d'un nombre variable de blocs élémentaires ($e \approx n \times 5m$).

Les niveaux aquifères et non aquifères sont rassemblés en un empilement continu. La surface supérieure du bloc diagramme restitue la topographie à l'échelle. Implicitement, la surface inférieure du bloc est la transposition, à l'échelle, du toit de la craie.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

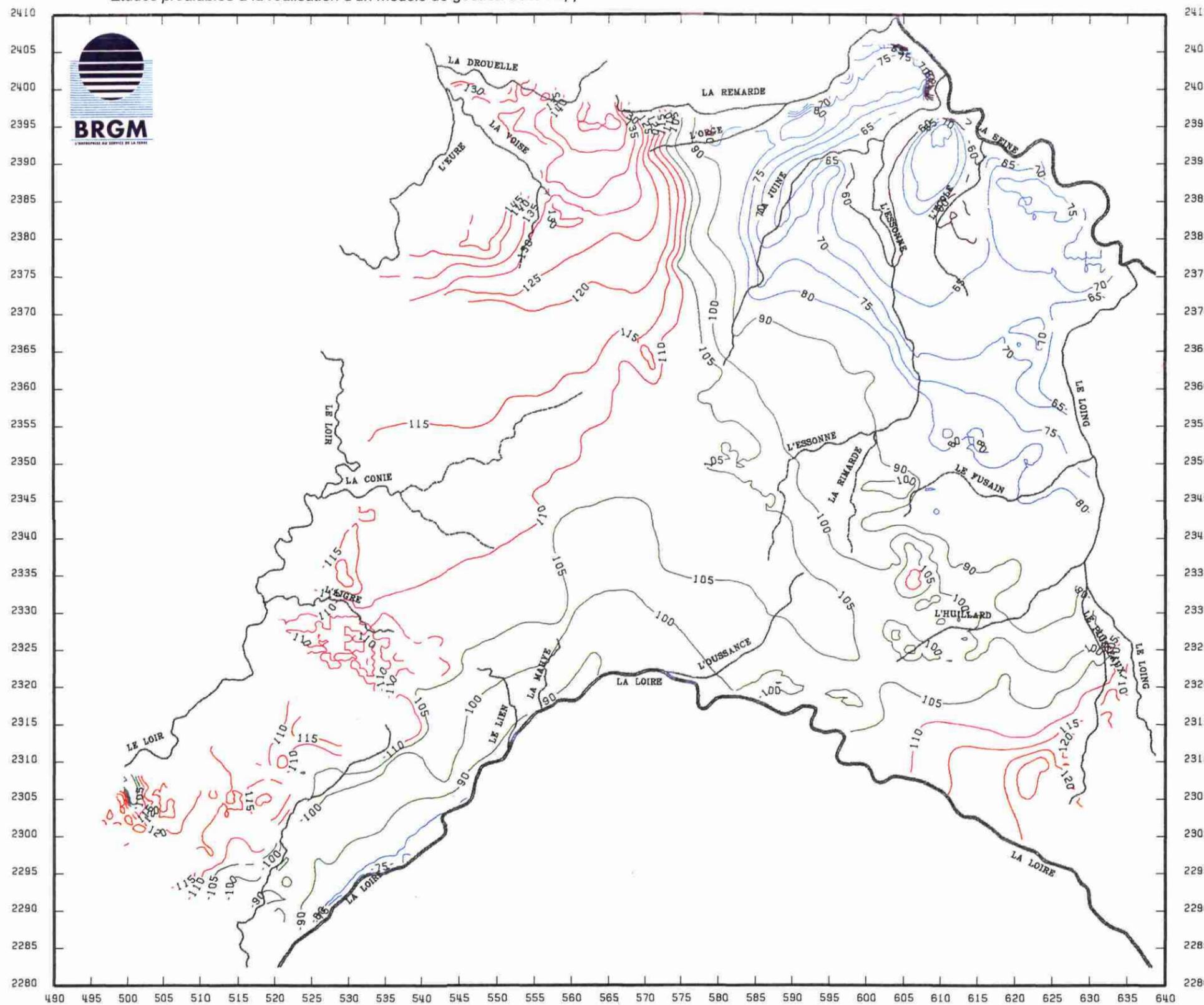
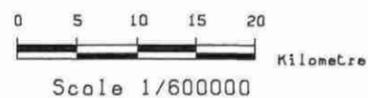


Fig. 3.1 – Carte piézométrique des Basses Eaux de 1994 (niveau oligo-Miocène).

Echelle 1/600 000



| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| BRGM | |
| SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BEAUCE | |
| PIEZOMETRIE DES BASSES EAUX DE 1994 | |
| 02-Apr-99 | Compiled by : J.C. MARTIN |
| GDM software BRGM/GEOMATH | |



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

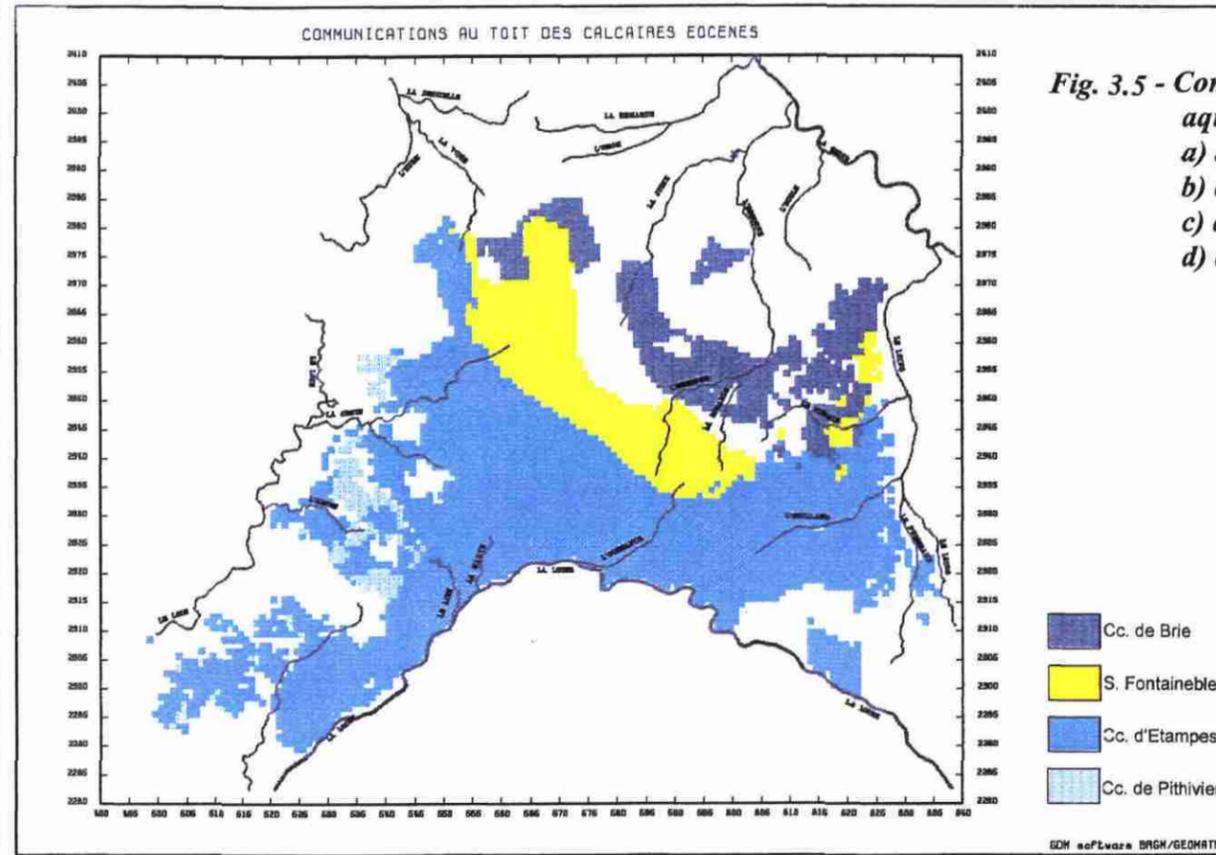
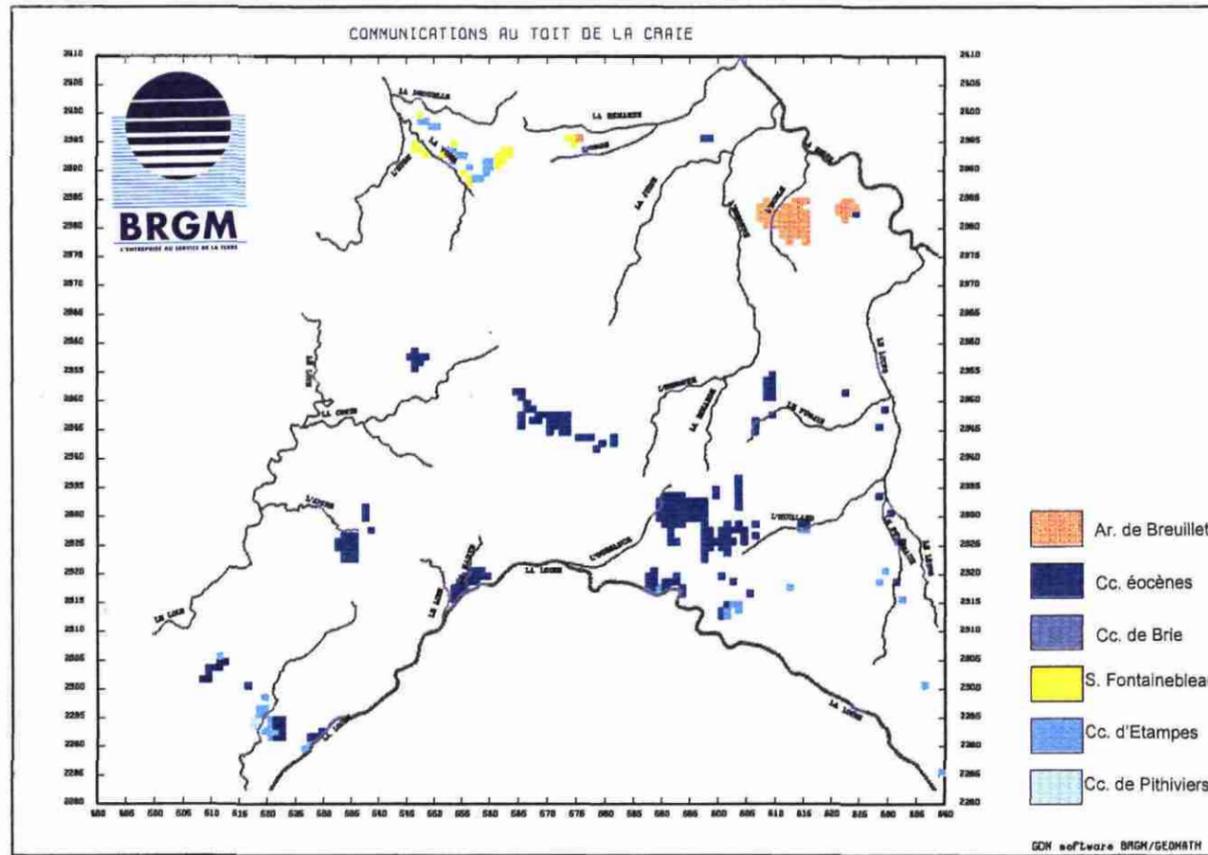
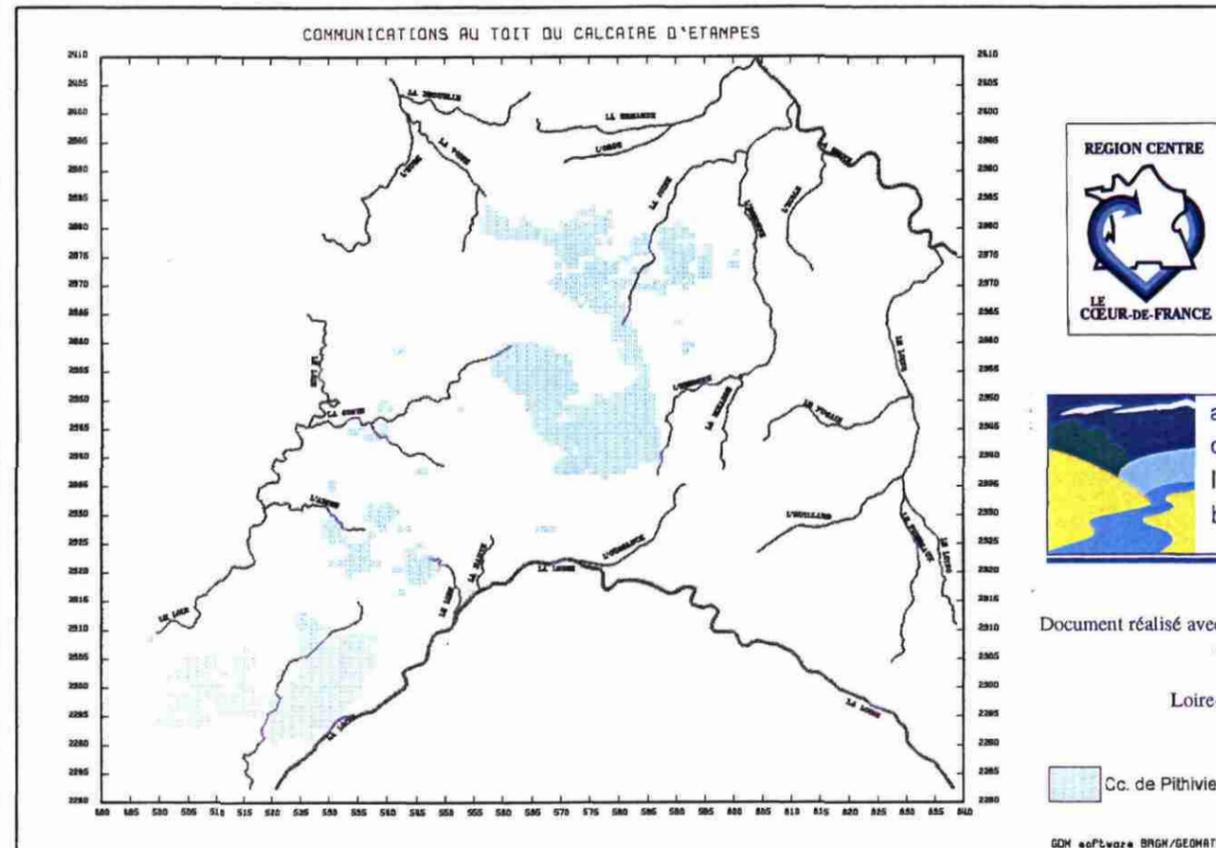
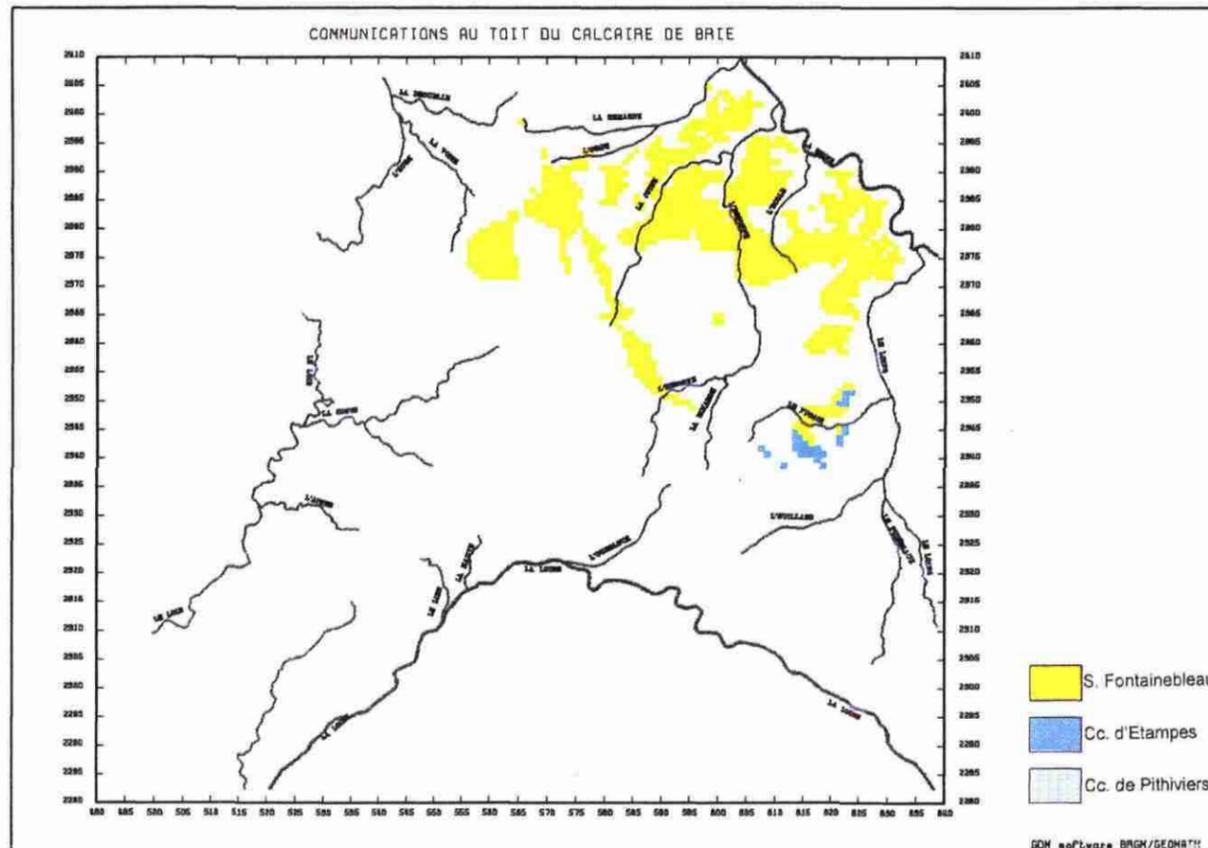


Fig. 3.5 - Communications entre les niveaux aquifères :
a) au toit de la craie,
b) au toit des calcaires éocènes,
c) au toit des calcaires de Brie,
d) au toit des calcaires d'Etampes.



Document réalisé avec le concours financier des conseils régionaux Centre et Ile-de-France, et des agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie

BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Département Eau
BP 6009 - 45060 Orléans cedex 2 - France - Tél. 33 (2) 38 64 34 34