Document public

Modélisation géologique de la craie séno-turonienne en région Nord-Pas-de-Calais

brgm

Rapport final

BRGM/RP-58910-FR

Décembre 2010

Financeur

Lille Métropole
COMMUNAUTÉ URBAINE

Partenaires techniques

Communauté d'Agglomération d'Hénin-Carvin
CommunAupole de Lens-Liévin
SIADO
Conseil Général Département du Nord
Pas-de-Calais Conseil Général
Agence de l'Eau Artois-Picardie
Noréade
Préfecture Nord-Pas de Calais
Géosciences pour une Terre durable brgm

BRGM
3 5000 00078626 8

Document public

Modélisation géologique de la craie séno-turonienne en région Nord-Pas-de-Calais

Rapport réalisé dans le cadre du projet SIGES

Rapport final

BRGM/RP-58910-FR
Décembre 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES & MINIERES
BIBLIOTHEQUE CENTRALE

J. PICOT,
Avec la collaboration de B. BOURGINE

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : V. PETIT	Nom : J.-R. MOSSMANN
Date : 09/09/2010	Date : 02/12/2010
Signature :	Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : SIGES, craie séno-turonienne, modélisation géologique, MultiLayer, région Nord-Pas-de-Calais.

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

J. PICOT, avec la collaboration de B. BOURGINE (2010) – Modélisation géologique de la craie séno-turonienne en région Nord-Pas-de-Calais. Rapport final. BRGM/RP-58910-FR, 75 p., 13 fig., 2 tabl., 2 annexes.

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre du projet SIGES, une modélisation géologique de la craie séno-turonienne de la région Nord-Pas-de-Calais a été réalisée. Rappelons que le projet SIGES vise à créer un observatoire de la nappe de la craie dans l'aire des territoires qui concourent à l'alimentation de la métropole lilloise et se déroule dans le cadre d'une convention partagée entre Lille Métropole Communauté Urbaine (LMCU) et le BRGM.

La Craie blanche à silex séno-turonienne (Crétacé supérieur) renferme une nappe qui alimente en eau potable 95% du département du Nord. La gestion et la protection de cette ressource est une des principales priorités des collectivités locales et particulièrement de LMCU. Pour cela, elle compte se doter d'outils d'aide à la décision pour définir sa stratégie de gestion de l'eau à court et à long terme.

La réalisation de ce modèle géologique est une étape de la phase 3 de ce projet et consiste principalement à modéliser numériquement en 3D : *i)* le toit et le mur de la Craie blanche à silex d'âge Séno-turonien et *ii)* les toits et murs des formations géologiques renfermant une nappe ayant des interactions connues avec la nappe de la craie.

La modélisation a été réalisée sur les logiciels *GDM* et *MultiLayer* du brgm. En tout, 9 ensembles géologiques ont été modélisés sur une partie du Nord-Pas-de-Calais :

- Les alluvions et les sables littoraux quaternaires,
- Les Limons des Plateaux quaternaires,
- Les Argiles des Flandres yprésiennes,
- Les Sables d'Ostricourt du Landénien supérieur,
- Les Argiles de Louvil du Landénien inférieur,
- La Craie blanche à silex séno-turonienne,
- Les Dièves vertes et bleues du Turonien moyen et inférieur,
- Les Craies et marnes cénomaniennes,
- Le « socle » âgé du Crétacé inférieur, Jurassique et Paléozoïque.

Les résultats de la modélisation des formations primaires, secondaires et tertiaires sont des cartes isohypses et isopaques ainsi qu'un modèle numérique 3D qui sera utilisé directement dans la suite de l'étude à savoir la modélisation hydrodynamique de la nappe de la craie sur *MARTHE* (logiciel du brgm).

Les résultats obtenus pour les formations superficielles du Quaternaire sont moins satisfaisants et devront être modifiés et enrichis avant leur réutilisation.

Sommaire

1. Introduction **7**

2. Contexte général **9**

2.1. PILE HYDRO-STRATIGRAPHIQUE 9

2.2. LES LIMITES DE MODELISATION 12

3. Données utilisées **13**

3.1. LES SONDAGES 13

3.2. CARTE GEOLOGIQUE, FAILLES ET MNT 15

3.3. LIMITES D'EXTENSION DES FORMATIONS 16

3.4. ISOHYPSES DE PAUL CAULIER 20

4. L'étape de modélisation **21**

4.1. INTERPOLATION ET MODELISATION 21

4.2. CONTROLES REALISES 22

4.3. VERIFICATION DU MODELE 23

5. Résultats **25**

5.1. LES FORMATIONS QUATERNAIRES 25

5.2. LES FORMATIONS TERTIAIRES 25

5.2.1. Les Argiles des Flandres – Yprésien 26

5.2.2. Les Sables d'Ostricourt – Landénien supérieur 26

5.2.3. L'Argile de Louvil – Landénien inférieur 26

5.3. LES FORMATIONS DU CRETACE SUPERIEUR 27

5.3.1. La Craie blanche à silex – Turonien supérieur à Sénonien 27

5.3.2. Les Dièves vertes et bleues – Turonien inférieur à moyen 28

5.3.3. Les craies et marnes - Cénomanien 28

5.4. LE SUBSTRATUM : LES FORMATIONS DU CRETACE INFERIEUR, JURASSIQUE ET PRIMAIRE 28

6. Conclusion **31**

7. Bibliographie **33**

Liste des annexes

Annexe 1 Cartes isohypses et isopaques des formations 35

Annexe 2 Coupes géologiques réalisées dans le modèle 67

Liste des illustrations

Figure 1 : Pile hydrostratigraphique du modèle 11

Figure 2 : Carte de localisation des limites prises pour la modélisation 12

Figure 3 : Localisation des sondages utilisés dans le modèle 13

Figure 4 : Extrait du tableau Excel « SONDAGE » 14

Figure 5 : Carte géologique et failles introduites dans le modèle 15

Figure 6 : Extension des Argiles des Flandres (Yprésien) dans l'emprise du modèle 17

Figure 7 : Extension des Sables d'Ostricourt (Landénien supérieur) dans l'emprise du modèle 17

Figure 8 : Extension de l'Argile de Louvil (Landénien inférieur) dans l'emprise du modèle 18

Figure 9 : Extension de la Craie blanche à silex (Turonien supérieur à Sénonien) dans l'emprise du modèle 18

Figure 10 : Extension des Dièves bleues et vertes (Turonien inférieur et moyen) dans l'emprise du modèle 19

Figure 11 : Extension des Craies et Marnes du Cénomanien dans l'emprise du modèle 19

Figure 12 : Structure de la table reprenant le travail de P. Caulier 20

Figure 13 : Localisation des coupes géologiques réalisées dans le modèle 67

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des formations retenues pour le modèle 10

Tableau 2 : Structure de la table « Points de contraintes » 23

1. Introduction

Dans le cadre du projet SIGES[1] une modélisation géologique de la craie séno-turonienne de la région Nord-Pas-de-Calais a été réalisée. Ce projet vise à créer un observatoire de la nappe de la craie dans l'aire des territoires qui concourent à l'alimentation de la métropole lilloise. Une partie de ce projet est consacrée à la modélisation des écoulements dans la nappe de la craie.

La Craie blanche à silex séno-turonienne (Crétacé supérieur) renferme une nappe qui alimente en eau potable 95% du département du Nord. La gestion et la protection de cette ressource est une des principales priorités des collectivités locales et particulièrement de Lille Métropole Communauté Urbaine (LMCU). C'est pour cette raison que ces collectivités ont demandé la mise en œuvre d'un "*modèle de simulation mathématique des écoulements souterrains*" dans la nappe de la craie. Le présent rapport présente le travail préalable qui consiste à définir la géométrie des différentes formations géologiques intervenant dans la circulation des eaux souterraines. Compte tenu des enjeux et des résultats escomptés, la géométrie des formations a été définie à l'aide d'un "*modèle géologique*" dont les principaux avantages sont la mise en cohérence de données hétérogènes et l'interpolation.

Le logiciel *MultiLayer* permet de créer un modèle géologique multicouche en 3 dimensions sous forme de grille contenant des informations sur le toit, le mur et l'épaisseur d'une formation géologique. Il prend en compte des séries à succession chronologique normale, des failles verticales et raisonne selon la logique des dépôts sédimentaires et la présence de surface d'érosion.

L'objectif de ce modèle géologique est de fournir les données d'entrée concernant la géométrie des couches pour le modèle de simulation des écoulements souterrains *MARTHE*.

La réalisation de ce modèle géologique est une étape de la phase 3 de ce projet et consiste principalement à modéliser numériquement en 3D : *i)* le toit et le mur de la Craie blanche à silex d'âge Séno-turonien et *ii)* les toits et murs des formations géologiques renfermant une nappe ayant des interactions connues avec la nappe de la craie.

La modélisation géologique a comporté 2 phases :

- une phase de sélection et de préparation des données à introduire dans le modèle,
- une phase de modélisation réalisée grâce aux logiciels *GDM* et *MultiLayer* du brgm.

---

[1] Système d'Information Géographique des Eaux souterraines

Les résultats de cette modélisation sont des cartes isopaques[2] et isohypses[3] ainsi qu'un modèle numérique sous forme de grille qui sera lu et utilisé par le logiciel *MARTHE* pour la simulation des écoulements.

Ce projet fait l'objet d'une convention partagée de recherche-développement entre LMCU et le BRGM.

[2] Carte représentant, sous forme de courbe d'égale valeur, l'épaisseur d'une formation géologique.

[3] Carte représentant, sous forme de courbe d'égale altitude, le toit ou la base d'une formation géologique.

2. Contexte général

2.1. PILE HYDRO-STRATIGRAPHIQUE

Le modèle réalisé pour le projet SIGES est un modèle représentant la géométrie des ensembles aquifères et aquicludes de la région. Ce n'est donc pas un modèle géologique au sens propre du terme, c'est-à-dire représentant la géométrie sur des critères uniquement géologiques. Les caractéristiques hydrodynamiques des différentes formations ont servi de critère de différentiation. La pile des formations sélectionnées pour le modèle comprend :

- Des aquifères[4] :
  - la Craie blanche à silex qui renferme la nappe de la craie ;
  - et toutes les couches géologiques renfermant une nappe ayant une quelconque interaction avec celle de la craie à savoir : la nappe des alluvions, la nappe des sables d'Ostricourt, la nappe des craies cénomaniennes et la nappe des calcaires carbonifères.
- Des aquicludes[5] :
  - les ensembles non aquifères intercalés entre les nappes précédemment citées, c'est-à-dire : les limons des plateaux, les argiles tertiaires et les marnes crétacées.

Ainsi, la pile hydro-stratigraphique[6] du modèle regroupe les 9 formations ou groupements de formations qui sont listées dans le Tableau 1 suivant.

---

[4] Corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée – ensemble du milieu solide et de l'eau contenue -, suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Un aquifère peut comporter une zone non saturée. (Castany et Margat 1987)

[5] Corps (couche, massif) de roches saturées, très faiblement conducteur d'eau souterraine, dans lequel le captage de quantités d'eau appréciables n'est pas possible dans des conditions économiques acceptables, et à travers lequel aucun flux de drainance significatif ne peut passer. (Castany et Margat 1987)

[6] Division fondée sur le caractère aquifère ou non aquifère d'une couche géologique, indépendamment de sa nature et de son âge.

QUATERNAIRE	Alluvions anciennes et modernes du Quaternaire ; sables littoraux du Quaternaire	Base érosive	Aquifère
	Limons des plateaux du Quaternaire	Base érosive	Aquiclude
TERTIAIRE	Argiles des Flandres (Argiles d'Orchies et de Roubaix) de l'Yprésien		Aquiclude
	Sables d'Ostricourt, du Quesnoy, de Grandglise et de Bracheux du Landénien supérieur (ou Thanétien supérieur)		Aquifère
	Argile de Louvil du Landénien inférieur (ou Thanétien inférieur)	Base érosive	Aquiclude
SECONDAIRE (Crétacé supérieur)	**Craie blanche à silex du Turonien supérieur au Sénonien**	Base érosive	Aquifère
	Dièves bleues et vertes du Turonien inférieur et moyen	Base érosive	Aquiclude
	Craies et marnes du Cénomanien	Base érosive	Aquifère/aquiclude
PRIMAIRE A SECONDAIRE	Le « substratum » : comprenant l'ensemble des formations géologiques du Secondaire (Crétacé inférieur) au Primaire		Aquifère/aquiclude

Tableau 1 : Liste des formations retenues pour le modèle

Le programme MultiLayer fonctionne en respectant l'ordre chronologique des dépôts sédimentaires : en d'autre terme les formations sont modélisées une par une en commençant par la formation la plus ancienne et ainsi de suite jusqu'à la plus récente.

MultiLayer prend également en compte les surfaces d'érosion. Pendant les phases d'érosion, les formations affleurantes sont érodées et leurs toits observés ne sont plus les toits « vrais ». À la fin des périodes d'érosion, la sédimentation reprend son cours et la base de la première couche de dépôt est appelée « base érosive ».

Pour notre modèle hydro-stratigraphiques, 6 bases ont été classées « base érosive » :

- la base des Alluvions et Sables littoraux, la base des Limons des Plateaux, la base des Argiles de Louvil et la base des Craies et Marnes du Cénomanien, qui sont des « *vraies* » surfaces d'érosion, c'est-à-dire qu'avant leur dépôt il y a eu une pause dans la sédimentation et une phase d'érosion. Souvent ces formations reposent en discordance sur les formations sous-jacentes.

- la base de la Craie blanche à silex du Turonien supérieur au Sénonien et la base des Dièves vertes et bleues, sont des « *pseudo* » surfaces d'érosion qui ont été choisie pour le bon fonctionnement de la modélisation. Avant leur sédimentation, il n'y a pas eu de pause dans la sédimentation et de phase d'érosion des terrains. Ce tour de passe-passe a été réalisé car la Craie blanche à silex et les Dièves vertes et bleues sont en concordance avec les formations sous-jacentes mais ont des extensions plus étendues.

Formation	Surf. type	Description	Surf. name	n° FORM
LIAL		Alluvions+sables littoraux		F09
	EROD		B09	
LIMO		Limons quaternaires		F08
	EROD		B08	
YPRE		Argiles des Flandres		F07
			T06	
LAND		Sables landéniens		F06
			T05	
LOUV		Argile de Louvil		F05
	EROD		B05	
CRAI		Craie		F04
	EROD		B04	
DIEV		Dièves Turonien moy-inf		F03
	EROD		B03	
CENO		Craies et marnes du Cénomanien		F02
	EROD		B02	
CARB		Substratum		F01

Figure 1 : Pile hydrostratigraphique du modèle

Dans GDM chaque formation est codée par un code à 4 lettres que l'on doit retrouver dans toutes les sources de données. C'est ce code qui permet de relier toutes les données entre elles comme nous le verrons par la suite.

Le substratum dénommé dans la Figure 1 et le Tableau 1 regroupe l'ensemble des formations plus anciennes que les craies et marnes du Cénomanien, à savoir :

- les formations du Crétacé inférieur (Argiles du Gault, Sables wealdiens, etc...) ;
- les formations du Jurassique (Formation de Marquise, Calcaire du Moulin-Wibert, etc...) ;
- les formations du Primaire (Calcaires Carbonifères, Grès de Pernes, etc....).

2.2. LES LIMITES DE MODELISATION

Le contour en rouge, illustré en Figure 2, représente les limites du modèle géologique à l'intérieur desquelles ont été calculées les surfaces des murs et des toits des entités listées précédemment. Elles sont définies à partir de critères hydrogéologiques. Ce contour se calque globalement sur les limites régionales en excluant l'Avesnois et le Boulonnais.

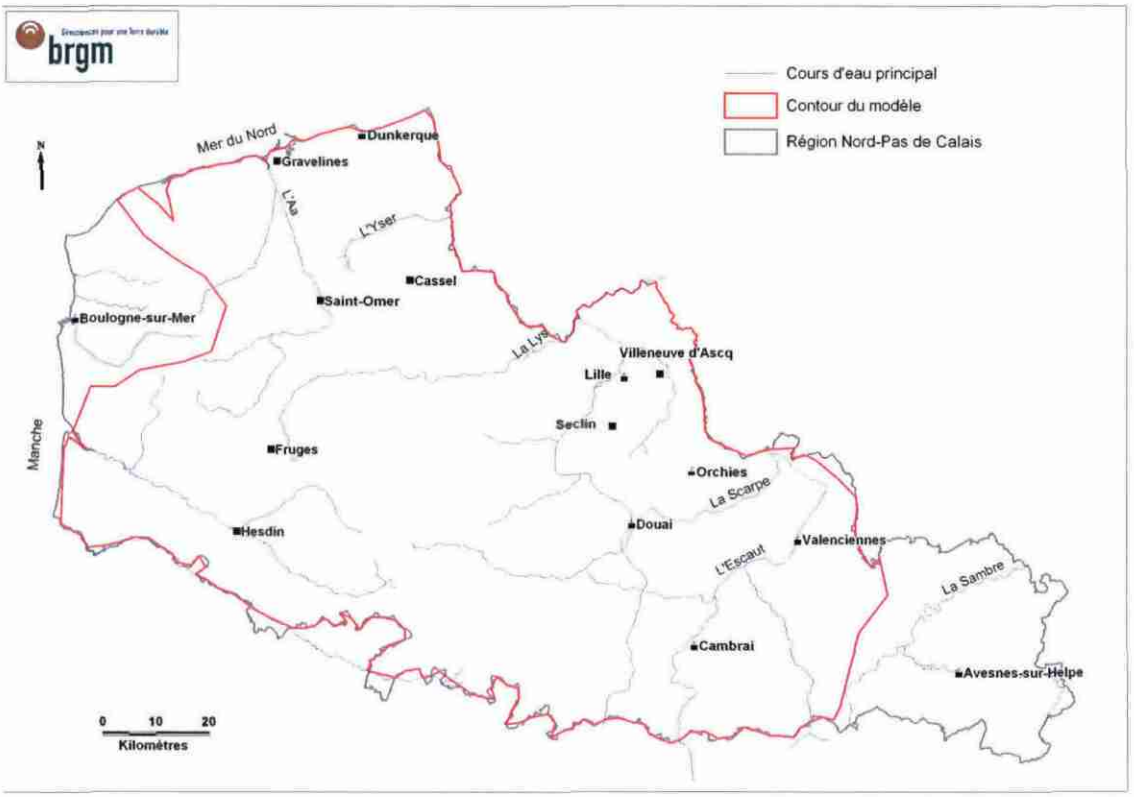


Figure 2 : Carte de localisation des limites prises pour la modélisation

3. Données utilisées

Le modèle fait appel à des données plus ou moins élaborées de plusieurs types : sondages, carte géologique, failles, Modèle Numérique de Terrain, limites d'extension des formations et cartes isohypses.

Une fois l'étape de recherche bibliographique et de sélection des données achevée, des transformations sur chaque type de données ont été nécessaires afin qu'elles puissent être importées dans *GDM*.

3.1. LES SONDAGES

Les sondages utilisés pour ce modèle sont les logs géologiques validés de la Banque de données du Sous-Sol (BSS). Ces sondages ont été extraits de la BSS et classés dans un tableau Excel pour pouvoir être intégrés dans *GDM*.

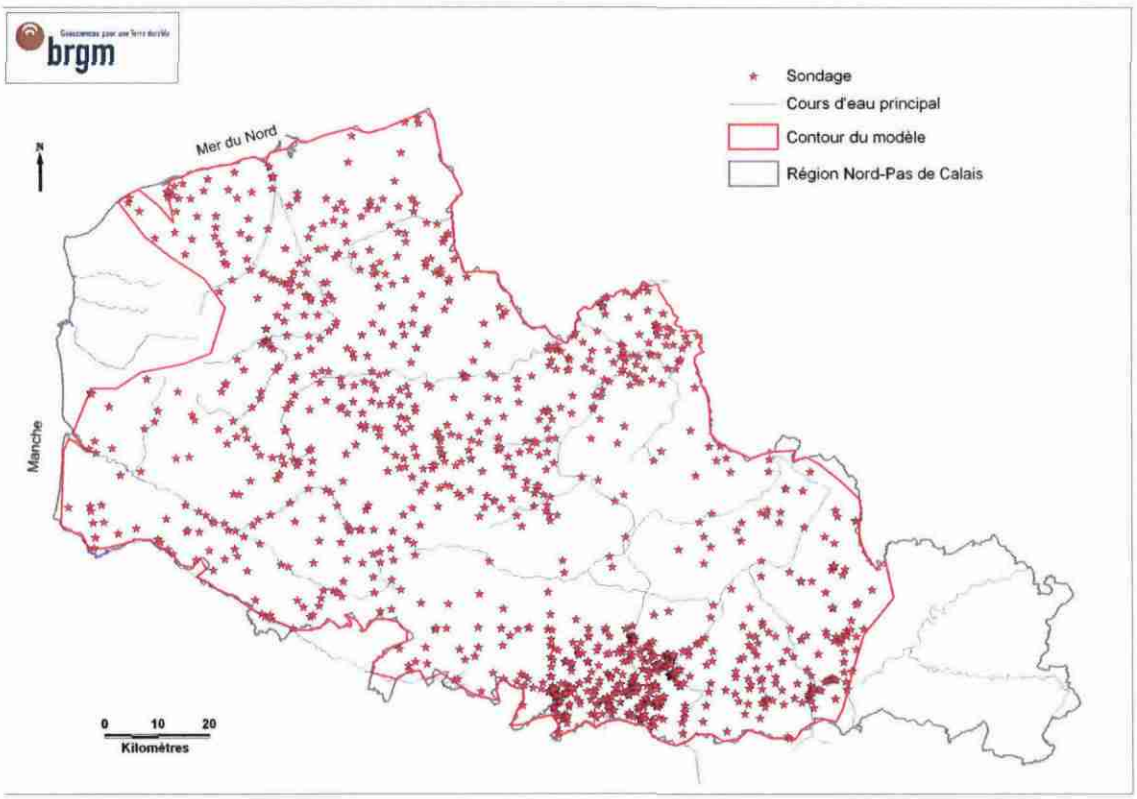


Figure 3 : Localisation des sondages utilisés dans le modèle

Dans ce tableau Excel, une ligne correspond à une passe de sondage. En d'autres termes, un sondage est décomposé en autant de lignes qu'il possède de passes descriptives. La Figure 4 est une copie partielle de ce tableau. Le sondage

00146B0026 est décomposé en 6 passes, donc 6 lignes. Chaque colonne du tableau reprend les caractéristiques principales du sondage, à savoir : l'indice, les coordonnées X et Y en Lambert 2 étendu et la cote altimétrique Z en NGF ; et les caractéristiques de la passe de sondage : profondeur de début, profondeur de fin, la lithologie, l'âge de la formation et le code GDM.

Microsoft Excel - SONDAGES.xls

	INDICE	PROF_DEBUT	PROF_FIN	CODE_FORM	STRATI_DEBUT	LITHOLOGIE	X_OUVRAGE_L2E	Y_OUVRAGE_L2E	Z
3988	00202A0107	84.5	90	CENO	Cénomanien	craie argileuse.	646710	2619098	21
3989	00202A0107	90	121.59	CARB	Dinantien	dolomie.	646710	2619098	21
3990	00202D0104	0	6	LIMO	Quaternaire	limon.	649976	2614469	40
3991	00202D0104	6	26	LOUV	Thanétien	argile sableuse.	649976	2614469	40
3992	00202D0104	26	77	CRAI	Turonien supérieur	craie à silex.	649976	2614469	40
3993	00202D0104	77	113	DIEV	Turonien moyen	craie argileuse.	649976	2614469	40
3994	00202D0104	113	132	DIEV	Turonien inférieur	craie argileuse.	649976	2614469	40
3995	00202D0104	132	146	CENO	Cénomanien	craie argileuse.	649976	2614469	40
3996	00202X0108	0	3	LIMO	Quaternaire	limon.	644966	2615385	28
3997	00202X0108	3	58	CRAI	Turonien supérieur	craie à silex.	644966	2615385	28
3998	00202X0108	58	94	DIEV	Turonien moyen	craie argileuse.	644966	2615385	28
3999	00202X0108	94	114	DIEV	Turonien inférieur	craie argileuse.	644966	2615385	28
4000	00202X0108	114	125.5	CENO	Cénomanien	craie argileuse.	644966	2615385	28
4001	00202X0108	125.5	157	CARB	Viséen	calcaire dolomitique.	644966	2615385	28
4002	00203A0165	0	4	LIMO	Quaternaire	limon.	651315	2617685	39
4003	00203A0165	4	35	CRAI	Turonien supérieur	craie à silex.	651315	2617685	39
4004	00203A0165	35	66.5	DIEV	Turonien moyen	craie argileuse.	651315	2617685	39
4005	00203A0165	66.5	83	DIEV	Turonien inférieur	craie argileuse.	651315	2617685	39
4006	00203A0165	83	86	CENO	Cénomanien	craie argileuse.	651315	2617685	39
4007	00203A0165	86	108	CARB	Tournaisien	calcaire dolomitique.	651315	2617685	39

Figure 4 : Extrait du tableau Excel « SONDAGE »

Comme vu au paragraphe 2.1, nous travaillons avec une pile hydro-stratigraphique divisée en systèmes aquifères et aquicludes qui sont indépendants de la nature et des âges géologiques. Ces systèmes ne sont pas prédéfinis dans la BSS : il faut donc les repérer pour chaque ouvrage et parfois interpréter cette cote.

Pour que GDM puisse faire le lien entre la pile hydro-stratigraphique et ce tableau, il a fallu identifier les passes des sondages avec le code GDM défini en Figure 1.

Chacune des 8920 passes de sondages a été codée.

Une fois ce codage terminé, le tableau Excel a pu être chargé dans *GDM*. Au total, 1137 sondages ont été sélectionnés.

3.2. CARTE GEOLOGIQUE, FAILLES ET MNT

La carte géologique harmonisée de la région Nord-Pas-de-Calais à l'échelle 1/50 000 a été adaptée pour être utilisable dans *GDM*.

Un premier travail d'assemblage des couches a été nécessaire sur MapInfo. La carte géologique harmonisée comprend 149 couches géologiques. Or notre modèle compte une pile hydro-stratigraphique de 9 systèmes aquifères ou aquicludes. Pour obtenir la carte de la Figure 5, toutes les couches géologiques appartenant à un système aquifère ou aquiclude ont été fusionnées entre elles.

La carte de la Figure 5 est donc une carte représentant les systèmes aquifères et aquicludes de notre pile hydro-stratigraphique au niveau de la surface du sol.

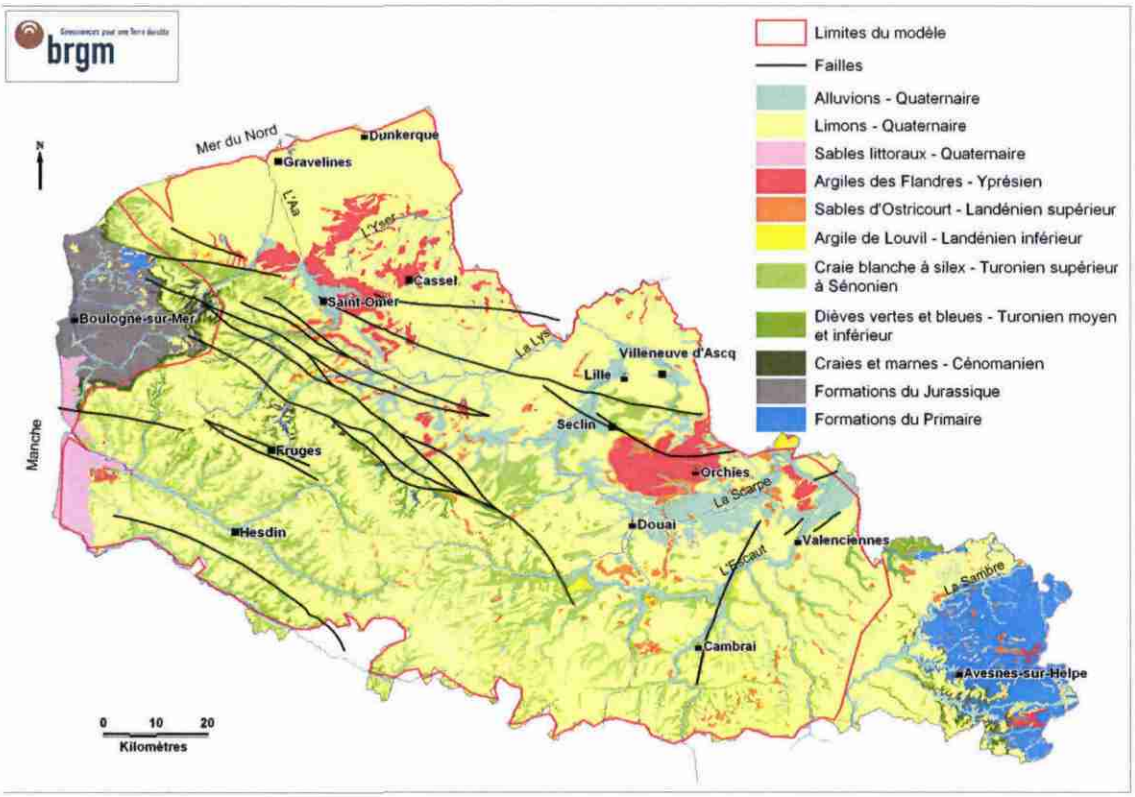


Figure 5 : Carte géologique et failles introduites dans le modèle

Cette carte a été codifiée, chaque surface s'est vue attribuer un code GDM afin d'être relié à celui de la pile stratigraphique. Puis, dans un second temps, la structure de cette carte a été scindée en deux :

- une carte constituée des **polygones codés**

- une autre carte constituée des **lignes des contours des polygones**. Chaque ligne est renseignée par le code du polygone se trouvant à sa droite et le code du polygone se trouvant à sa gauche.

Une fois ces transformations effectuées, les deux cartes sont importées dans GDM, qui traduira les informations comme il suit :

- un polygone correspond à une surface sur le MNT où la formation codée affleure ;
- une ligne correspond à un contact entre deux formations, à l'altitude du MNT.

L'objectif premier étant de modéliser le toit et mur de la craie, ce sont donc les failles affectant la craie qui ont été sélectionnées. Elles proviennent des cartes de P. Caulier. Ces failles affectent aussi les terrains tertiaires.

Dans *GDM* et *MultiLayer*, les failles sont modélisées sans pendage, c'est pourquoi les sorties graphiques en annexe montrent des failles verticales.

Le MNT (Modèle Numérique de Terrain) utilisé pour représenter la topographie est celui de la région au pas de 50 m.

3.3. LIMITES D'EXTENSION DES FORMATIONS

La carte géologique apporte une information de surface, c'est-à-dire des limites d'extensions d'affleurements en surface, mais, dans *MultiLayer,* il est possible d'introduire également des limites d'extensions en profondeur. Cette information supplémentaire permet de limiter les calculs de *MultiLayer* et de confiner l'extension d'une formation dans un périmètre précis.

Les limites d'extensions proviennent de la BDLisa Artois-Picardie. Elles ont été simplifiées et parfois modifiées tout en respectant l'échelle de travail qui est régionale. Les zones se trouvant en dehors des limites du modèle ont également été supprimées.

Des limites d'extension ont été appliquées aux calculs des formations du Tertiaire et du Crétacé supérieur (Figure 6, Figure 7, Figure 8, Figure 9, Figure 10 et Figure 11).

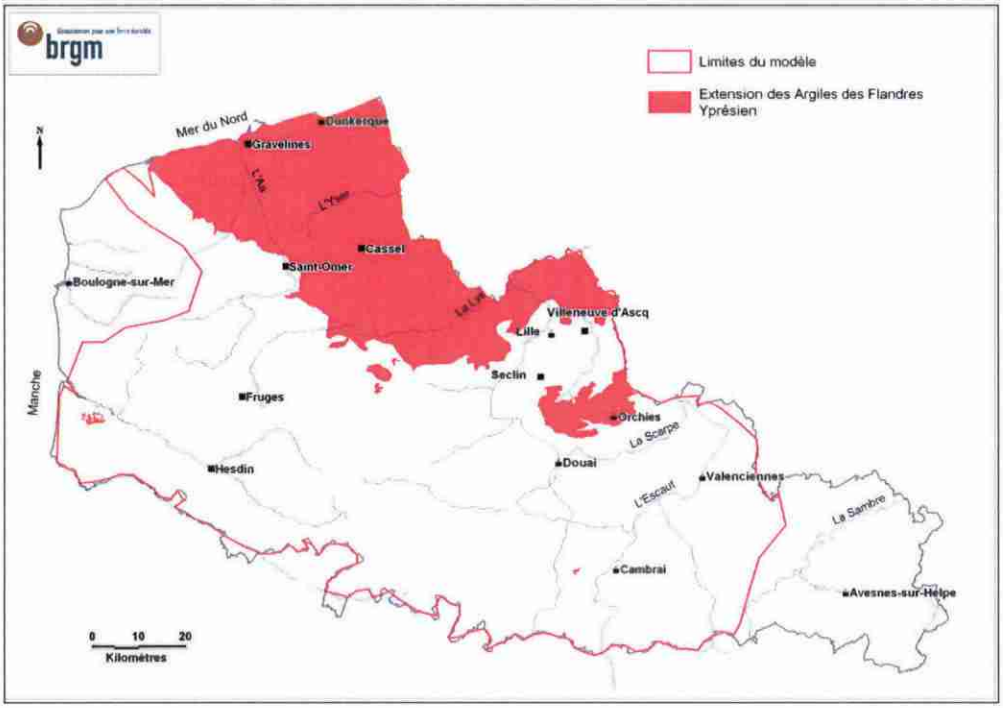


Figure 6 : Extension des Argiles des Flandres (Yprésien) dans l'emprise du modèle

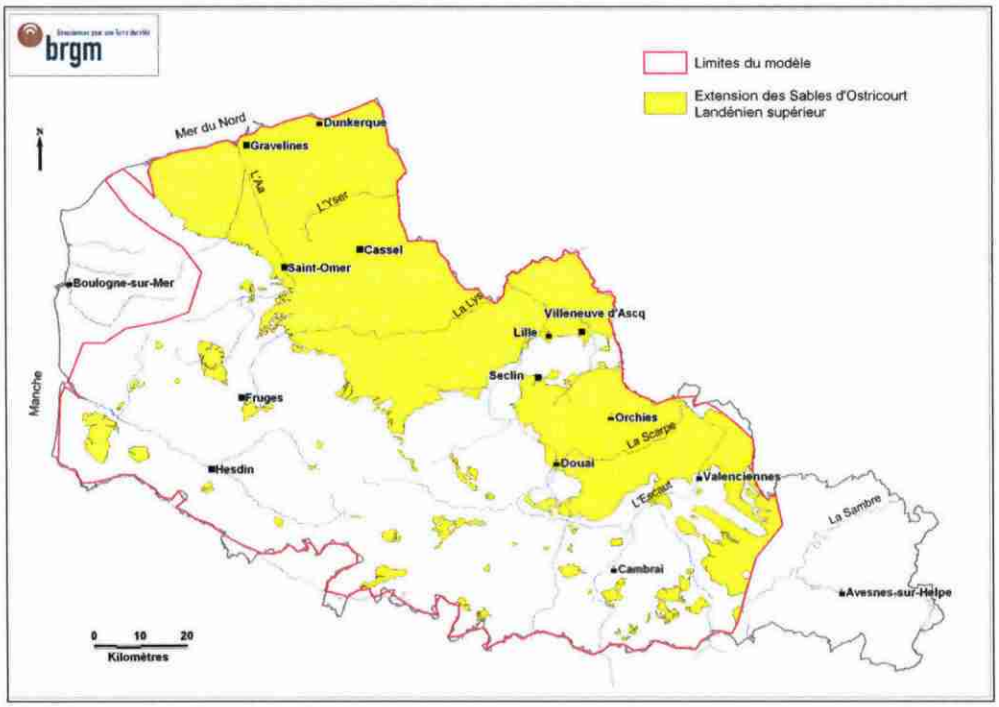


Figure 7 : Extension des Sables d'Ostricourt (Landénien supérieur) dans l'emprise du modèle

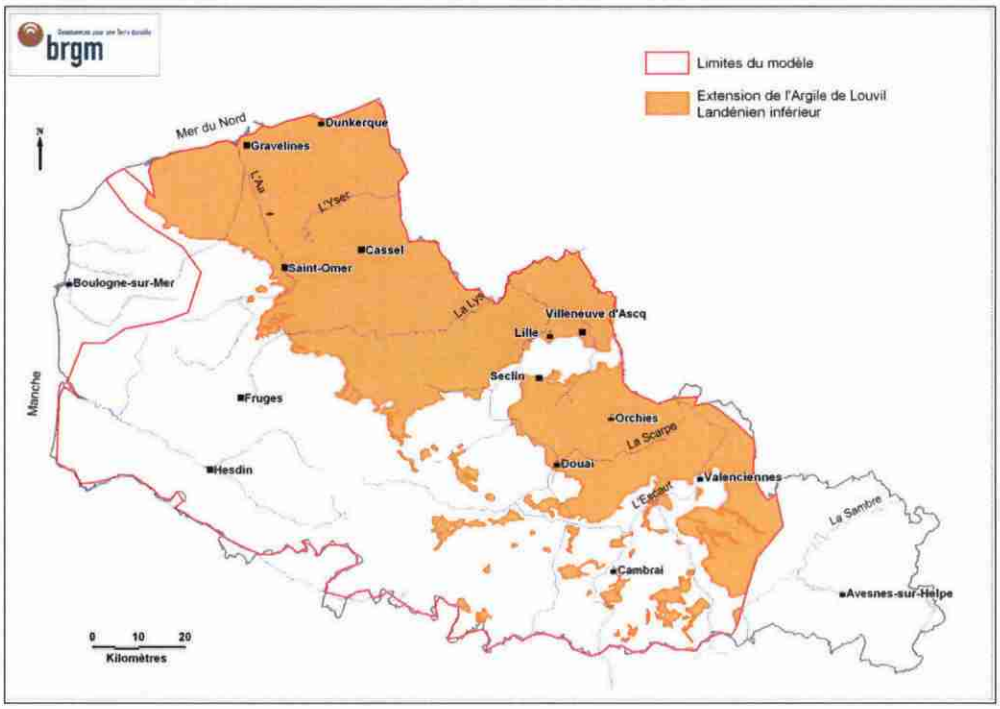


Figure 8 : Extension de l'Argile de Louvil (Landénien inférieur) dans l'emprise du modèle

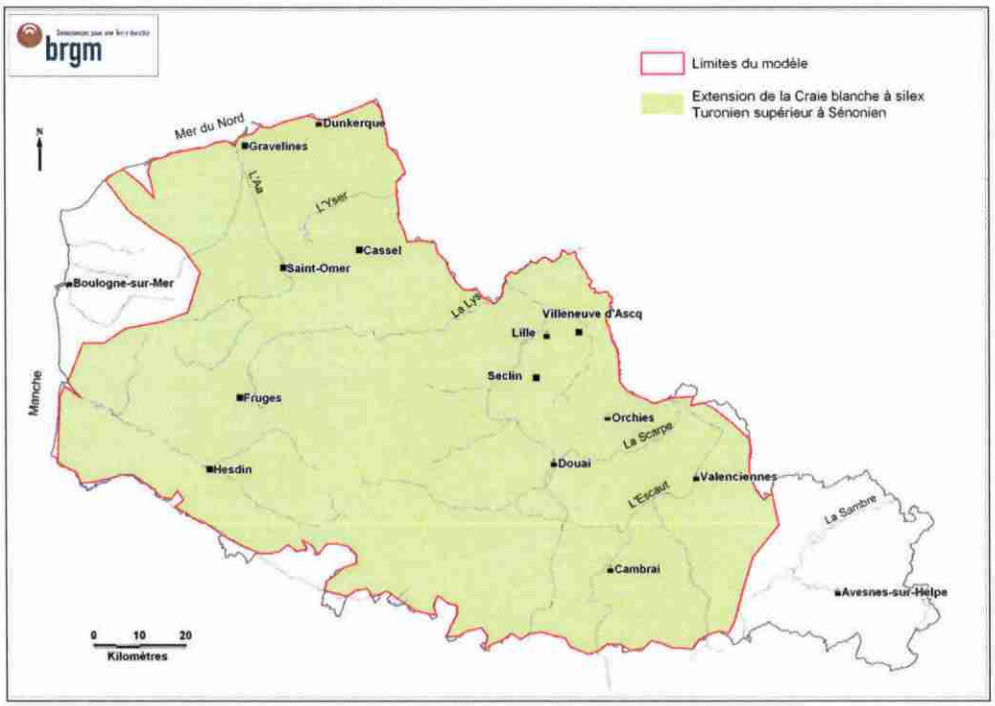


Figure 9 : Extension de la Craie blanche à silex (Turonien supérieur à Sénonien) dans l'emprise du modèle

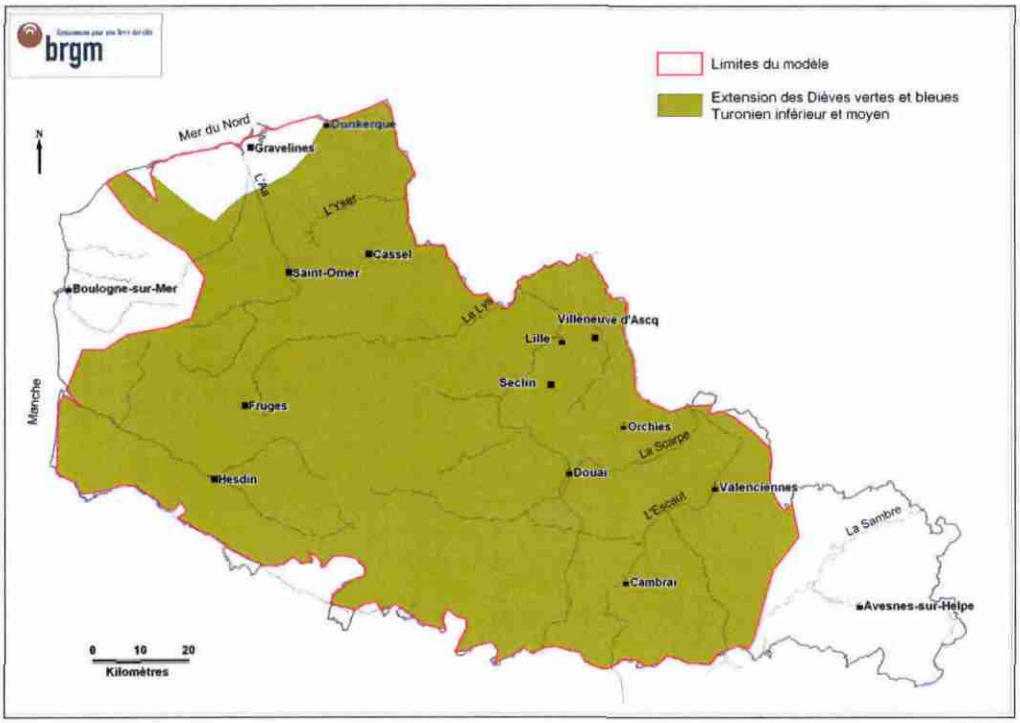


Figure 10 : Extension des Dièves bleues et vertes (Turonien inférieur et moyen) dans l'emprise du modèle

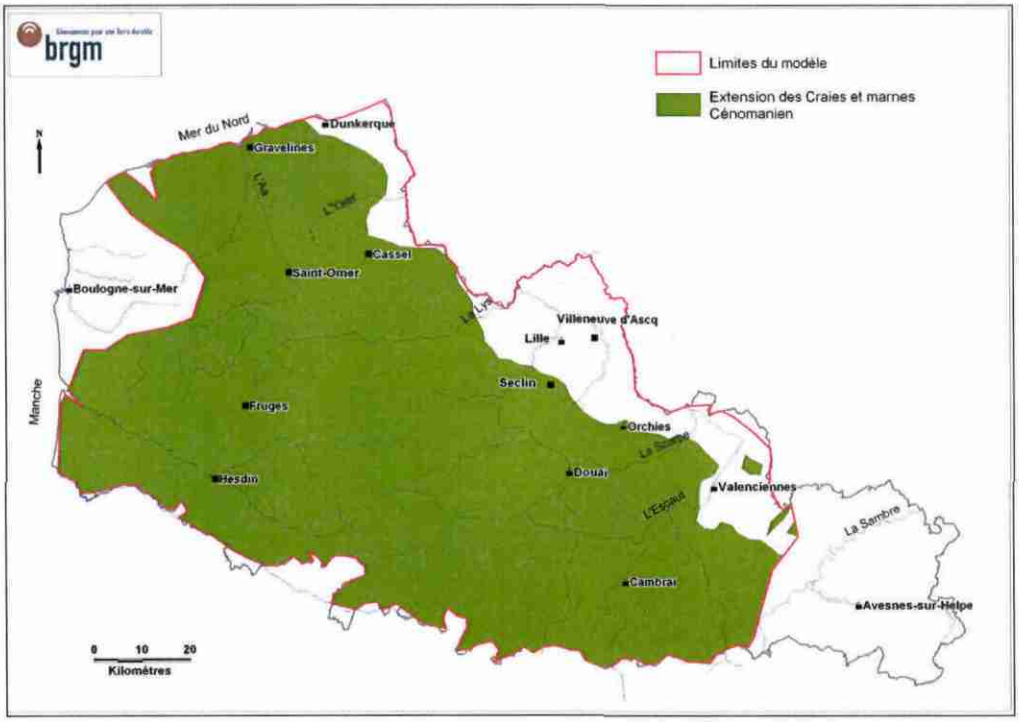


Figure 11 : Extension des Craies et Marnes du Cénomanien dans l'emprise du modèle

3.4. ISOHYPSES DE PAUL CAULIER

Dans ce secteur, le travail de P. Caulier (1974) fait référence pour les surfaces suivantes : toit du Séno-turonien, toit du Turonien moyen, toit du Cénomanien et base du substratum crayeux. Elles ont donc été naturellement reprises dans le modèle. Sur le plan technique, les courbes ont été "traduites" en 22 632 points. Chaque point est localisé en coordonnées X, Y et Z et comprend une information : cote du mur de la Craie blanche à silex ou cote du toit des Dièves bleues et vertes, etc...

Par exemple, la ligne 19606 de la table CAULIER_V11 (Figure 12) indique qu'aux coordonnées X : 563 806 m et Y : 2 659 352 m (en Lambert 2 étendu), le toit de la craie séno-turonienne se trouve à -10 m NGF.

CAULIER_V11

-10

	TOIT	MUR	KEEP	FORM	T M	XXXX	YYYY	ZZZ
19596		-90.0000	1.000000	CENO	M	680320.0	2601136	-90.0000
19597		-10.0000	1.000000	CENO	M	680883.0	2581093	-10.0000
19598		90.0000	1.000000	CRAI	M	681613.0	2564373	90.0000
19599		-150.0000	1.000000	CENO	M	682928.0	2601074	-150.0000
19600		0.0000	1.000000	CENO	M	683608.0	2581076	0.0000
19601	0.0000		1.000000	CRAI	T	559813.0	2661650	0.0000
19602	0.0000		1.000000	CRAI	T	560776.0	2661277	0.0000
19603	0.0000		1.000000	CRAI	T	562790.0	2658675	0.0000
19604	0.0000		1.000000	CRAI	T	563494.0	2659392	0.0000
19605	0.0000		1.000000	CRAI	T	563798.0	2658400	0.0000
19606	-10.0000		1.000000	CRAI	T	563806.0	2659352	-10.0000
19607	-10.0000		1.000000	CRAI	T	564420.0	2658514	-10.0000

Figure 12 : Structure de la table reprenant le travail de P. Caulier

4. L'étape de modélisation

4.1. INTERPOLATION ET MODELISATION

Une fois l'ensemble des données de départ intégrées dans *GDM* (pile hydro-stratigraphique, sondages, carte géologique, MNT, failles, points de P. Caulier, limites d'extension des formations), on passe à la phase de calcul dans le logiciel *MultiLayer*.

Cette phase de calcul, appelée interpolation et modélisation, consiste à mettre en relation toutes ces données, à les combiner et à créer une grille 3D contenant les cotes du mur et du toit des neuf entités sélectionnées

Mise en relations des données de départ :

Dans *MultiLayer*, une formation est modélisée par deux variables : la côte de son toit et la cote de son mur. Par exemple pour la Craie séno-turonienne, les deux variables sont : TOIT_CRAI et MUR_CRAI (CRAI étant le code *GDM* à 4 lettres).

Toutes les données initiales (sondages, carte géologique, points de P. Caulier, etc...) contiennent des informations sur le toit et le mur de la craie. L'étape de codage des données consiste à identifier les variables présentes dans les données de départ.

Interpolation des surfaces :

Les points codés représentant une même surface (ex : tous les MUR_CRAI) vont être interpolés (c'est-à-dire reliés entre eux) pour créer une surface « brute ». L'ensemble des surfaces brutes, qui sont indépendantes les unes des autres, constitue le « modèle brut ».

La méthode d'interpolation est le krigeage avec variogramme linéaire sans dérive. Les mailles de calcul sont des carrés de 500 m de côté.

L'interpolation a été effectuée dans le logiciel *MultiLayer*, à l'exception des limons quaternaires qui ont été modélisés sous *GDM*.

Les différentes surfaces sont interpolées par des méthodes adaptées à leurs caractéristiques et aux données disponibles:

- Les surfaces du Quaternaire ont été calculées à partir des sondages et de l'intersection de la carte géologique avec le MNT ;
- Les surfaces du Tertiaire sont calculées à partir des données de sondages, carte géologique, MNT, limites d'extension de la BDLISA et des failles ;

- Les surfaces du Crétacé supérieur sont modélisées à partir des données de sondage, carte géologique, MNT, limites d'extension de la BDLISA, failles et cartes de P. Caulier (toits et murs) ;
- La surface du « substratum » provient, quant à elle, des données de sondage, de la carte géologique, du MNT et des repérages des failles.

Combinaison des surfaces :

L'étape de combinaison des surfaces consiste à recouper les surfaces brutes selon la logique de dépôt (définie lors de la construction de la pile hydro-stratigraphique) afin d'obtenir le « modèle final ».

Le programme assemble en premier les surfaces d'érosion (la plus récente venant éroder les précédentes) ; puis dans un second temps, il dépose les formations ONLAP situées entre deux surfaces d'érosion, en les empilant du bas vers le haut. Une formation ne peut se déposer que s'il lui reste encore de la place, c'est-à-dire si la cote de son toit est supérieure aux cotes des formations déjà en place.

Par exemple : la surface topographie recoupe toutes les autres surfaces. Autre exemple : la base des limons quaternaires (codée BASE_LIMO) coupe les surfaces plus anciennes (surfaces du Tertiaire, Secondaire et Primaire).

Une fois les surfaces finales réalisées, elles sont stockées dans une grille 3D.

4.2. CONTROLES REALISES

L'apport de plusieurs sources de données différentes dans un modèle permet de disposer d'une bonne représentativité de l'information, mais fait aussi apparaître des incohérences qui seront mises en évidence par des contrôles appropriés

Lors des contrôles de cohérence, la priorité a été donnée à la carte géologique harmonisée et aux cartes de P. Caulier. Dans les cas d'incohérence, entre un sondage et les cartes de P. Caulier par exemple, le sondage a été mis de côté (37 sondages écartés au cours de l'étude).

Les incohérences sont repérées et corrigées à l'aide des contrôles suivants :

- Le contrôle de cohérence entre l'altitude de la tête du sondage et le MNT permet de mettre en évidence des sondages mal localisés ou mal nivelés. Des corrections manuelles ont été réalisées dans la base de données Sondage.
- Le contrôle des cohérences entre les sondages et les cartes géologiques : ce contrôle n'a pas donné lieu à des modifications car *MultiLayer* donne priorité par défaut à la carte géologique ce qui correspond à notre attente.

4.3. VERIFICATION DU MODELE

Une fois le modèle calculé dans *MultiLayer*, des coupes ont été réalisées dans *GDM* (Annexe 2). Ces coupes ont été corrigées selon les connaissances régionales et les coupes provenant d'autres publications.

Ces corrections se font en créant des « *points de contraintes* », qui sont tous regroupés dans une base de données. Chaque point est renseigné en coordonnées X, Y, Z et sur la formation qu'il corrige.

PTS_CONTRAINTE_V14

	INDC	Toit imposee	Epaisseur imposee	Mur imposee	Dir Pendage	Pendage	Delta	Date mm	Formation	Variable	Comment	Date	XXXX	YYYY	ZZZZ
22441		-110.0000							LOUV				581808.0	2657530	-110.0000
22442		-124.0000							LOUV				586458.0	2657377	-124.0000
22443		-130.0000							LOUV				617167.0	2663863	-130.0000
22444				-92.0000					CRAI				617834.0	2620679	-92.0000
22445				-152.0000					DIEV				617822.0	2620657	-152.0000
22446				-180.0000					CENO				617822.0	2620657	-180.0000
22447		0.0000							LAND				619079.0	2622847	0.0000
22448				-228.0000					CENO				628389.0	2639064	-228.0000
22449		-66.0000							LOUV				626659.0	2636051	-66.0000
22450		-60.0000							LOUV				623672.0	2630847	-60.0000
22451		-20.0000							LOUV				619104.0	2622890	-20.0000
22452				-174.0000					CENO				618432.0	2621719	-174.0000
22453				-20.0000					DIEV				589195.0	2627400	-20.0000
22454				-58.0000					CENO				588215.0	2627415	-58.0000

Tableau 2 : Structure de la table « Points de contraintes »

Par exemple, sur une coupe, on constate visuellement que la base de la craie passe « trop haut ». Pour corriger cette erreur, il suffit de créer un point de contrainte localisé en X Y sur ladite zone d'erreur et de corriger la variable qui nous intéresse : Mur_imposé égale à -92 m NGF.

Les coupes réalisées dans le modèle ont permis également de vérifier les jeux des failles.

De la même manière, des cartes isohypses des toits, des murs et des isopaques des formations ont été tracées dans *GDM* (annexe 1) afin de réaliser un contrôle comparatif avec les limites d'extension de la BDLISA et d'autres cartes, notamment celles réalisées par B. Minguely dans sa thèse de 2007. Ces cartes ont permis de mettre en évidence des zones d'erreurs et de les corriger via la création de points de contraintes.

5. Résultats

Les descriptions des paragraphes suivants découlent de l'interprétation des cartes présentées en Annexe 1.

5.1. LES FORMATIONS QUATERNAIRES

Le tracé de l'ensemble des « *alluvions anciennes et modernes & sables littoraux* » est peu représentatif de la réalité. En effet, le tracé est discontinu alors que les dépôts réels d'alluvions sont continus tout le long du cours d'eau. Cette discontinuité provient probablement de la taille de la maille du modèle, ou du faible nombre de données ou encore de la faible épaisseur des dépôts.

Au vu des résultats, cet ensemble ne sera pas intégré tel quel dans le modèle hydrogéologique mais fera l'objet de modifications et d'apport de nouvelles données dans le logiciel *MARTHE* (cartographie du réseau hydrographique, cotes des surface libre et du fond des rivières).

La base des « *limons des plateaux* » a été interpolée à partir des épaisseurs connues (sondages, toit exact de la formation sous-jacente soustrait au MNT). Dans les secteurs où les données en épaisseur étaient absentes, il a été attribué arbitrairement une épaisseur par défaut de 1 m. Cette interface a été calculée dans *GDM* et donne des résultats satisfaisants pour la répartition des dépôts mais peu fiables pour les cartes isopaques compte tenu du manque de données dans certains secteurs.

Au vu des résultats, cet ensemble sera repris dans le modèle hydrogéologique en y apportant quelques modifications quant à l'épaisseur des dépôts.

NB : les sables littoraux de la région de la Plaine Maritime (Calais-Dunkerque) n'ont pas été modélisés car la nappe qu'ils renferment n'a pas d'interaction avec la nappe de la craie.

5.2. LES FORMATIONS TERTIAIRES

Les modélisations des « *Argiles des Flandres* », « *Sables d'Ostricourt* » et des « *Argiles de Louvil* » donnent de bons résultats mis à part quelques petites imperfections où des plaquages isolés persistent en dehors des limites d'extensions.

5.2.1. Les Argiles des Flandres – Yprésien

Les dépôts d'Argiles des Flandres sont cantonnés à la Plaine des Flandres et au Bassin d'Orchies. L'altitude du toit de cette formation varie entre -20 m NGF* dans la région de Calais-Dunkerque et +145 m NGF au niveau des Monts des Flandres. La tendance générale du toit dans la Plaine des Flandres est à l'approfondissement vers le nord-ouest.

L'épaisseur de ces argiles varie entre 0 et 200 m. Le maximum est relevé aux Monts des Flandres. Rappelons que, pour le modèle, l'ensemble « Argiles des Flandres » englobe toutes les formations de l'Yprésien jusqu'à la fin du Tertiaire : Argiles des Flandres yprésiennes, sables lutétiens, Argile de Cassel, etc...

5.2.2. Les Sables d'Ostricourt – Landénien supérieur

Les Sables d'Ostricourt sont présents dans la Plaine des Flandres, le Bassin d'Orchies et en bordure de l'Avesnois. L'altitude du toit varie entre -120 m NGF sous les Flandres et + 140 m NGF en Avesnois. Leur extension est plus grande que celle des Argiles des Flandres, surtout au niveau du Bassin d'Orchies. Il n'existe aucun dépôt au niveau de l'Anticlinal du Mélantois. La tendance générale est à l'approfondissement vers le nord dans la Plaine des Flandres et vers le centre du Bassin d'Orchies.

L'épaisseur varie globalement de 0 à 30 m. Les points indiquant des épaisseurs supérieures à 40 m sont des erreurs localisées à l'échelle de la maille qui n'ont pu être corrigées. Ce sont des zones où, dans les forages, le Landénien inférieur et le Landénien supérieur ont été regroupés car ils sont difficilement différentiables.

5.2.3. L'Argile de Louvil – Landénien inférieur

L'Argile de Louvil est présente dans la Plaine des Flandres, le Bassin d'Orchies et en bordure de l'Avesnois. L'altitude du toit varie entre -140 m NGF sous les Flandres et + 140 m NGF en Avesnois. Un approfondissement est remarquable vers le nord de la Plaine des Flandres et vers le centre du Bassin d'Orchies. Il n'existe aucun dépôt au droit de l'anticlinal du Mélantois.

L'épaisseur de ces argiles varie entre 0 et 40 m. Un épaississement est notable vers le nord et vers le nord-ouest de la Plaine des Flandres et vers le centre du Bassin d'Orchies. En bordure de l'Avesnois, les épaisseurs sont très faibles car cette formation géologique a été érodée.

Les zones en rouge sur la carte (Saint-Jans-Cappel et Nomain), c'est-à-dire où l'épaisseur est supérieure à 40 m, correspondent à des zones où la limite entre le Landénien inférieur et supérieur a été mal identifiée dans les forages (manque de description précise) et où l'épaisseur d'Argile de Louvil a été surévaluée. En effet, en

---

* Nivellement Général Français

comparant cette carte isopaque à celle des Sables d'Ostricourt, on observe que ces mêmes zones accusent une réduction d'épaisseur par rapport à l'environnement voisin (épaisseur diminuant en dessous de 10 m).

5.3. LES FORMATIONS DU CRETACE SUPERIEUR

Les modélisations obtenues pour la « *Craie blanche à silex* », les « *Dièves bleues et vertes* » et les « *Craies et marnes cénomaniennes* » semblent représentatives de la réalité.

Les aquifères de la « *Craie blanche à silex* » et des « *Craies et marnes cénomaniennes* » présentent des limites de productivité. Par exemple, la craie cesse d'être productive à quelques kilomètres au nord de la bordure de la plaine des Flandres. C'est une caractéristique hydrogéologique non modélisable dans *MultiLayer*. Ces limites seront donc introduites directement dans le modèle hydrogéologique

5.3.1. La Craie blanche à silex – Turonien supérieur à Sénonien

La Craie blanche à silex est présente sur l'ensemble du modèle. Son toit présente deux morphologies distinctes :

- La Plaine des Flandres et le Bassin d'Orchies où les courbes isohypses du toit sont lisses. La craie est ici recouverte par les terrains tertiaires. L'altitude du toit varie entre 0 et -150 m NGF. La tendance générale est à l'approfondissement vers le nord dans la Plaine des Flandres et vers le centre du Bassin d'Orchies.
- Les collines de l'Artois, le Cambrésis et la bordure Avesnoise où les courbes isohypses zigzaguent. La craie est dans ce secteur plus érodée car la couverture tertiaire n'existe pas. La géométrie du toit est calquée sur le relief. En bordure de l'Avesnois, le toit remonte progressivement. L'altitude varie entre 0 et +175 m NGF.

Les zones blanches correspondent aux secteurs où la craie n'existe plus car elle a été totalement érodée. C'est le cas de certains fonds de vallées et du compartiment sud des failles de l'Artois où les terrains plus anciens sont remontés à la surface à la faveur de jeux de failles (Dennebroeucq, Audincthun, Matringhem ou encore Pernes, etc...).

Le bombement anticlinal du Mélantois est ici bien visible grâce aux isohypses.

L'épaisseur de la Craie blanche à silex est hétérogène :

- Sous la Plaine des Flandres, elle s'accroît de 50 à 175 m vers le nord-ouest.
- Dans le secteur des collines de l'Artois et en bordure de l'Avesnois, les épaisseurs sont plus faibles, entre 0 et 125 m et sont fonction du relief et de l'érosion. En effet, les épaisseurs les plus importantes sont rencontrées sous les plateaux.

5.3.2. Les Dièves vertes et bleues – Turonien inférieur à moyen

Les Dièves vertes et bleues sont moins affectées par l'érosion que la Craie blanche à silex. L'altitude de leur toit varie entre -275 m NGF vers le nord-ouest des Flandres et +175 m NGF dans le secteur des collines de l'Artois.

Les structures du Bassin des Flandres, du Bassin d'Orchies et de l'anticlinal du Mélantois sont bien soulignées par les isohypses.

Dans le secteur de la Plaine Maritime (Calais-Dunkerque), les dièves sont absentes conformément aux limites d'extension des formations de la BDLISA. Elles sont également absentes dans certains secteurs du compartiment sud des failles de l'Artois où, à cause des jeux de failles, elles ont été complètement érodées.

L'épaisseur des dièves est hétérogène (de 0 à 125 m). Globalement, elle diminue vers le nord-est à l'exception du secteur de Valenciennes.

Les isopaques ne mettent en évidence ni les morphologies des Bassins des Flandres et d'Orchies ni celles de l'anticlinal du Mélantois, ce qui indique un mouvement tectonique postérieur à l'âge des dépôts.

5.3.3. Les craies et marnes - Cénomanien

L'altitude du toit des craies et marnes du Cénomanien varie entre -300 m NGF à Gravelines et +125 m NGF dans l'Artois. Cette formation connaît un approfondissement vers le nord-ouest de la Plaine des Flandres et vers l'ouest dans le secteur des Bas-Champs (Berck-plage). L'Artois et les bordures de l'Avesnois sont caractérisés par une surrection de cette formation.

Les craies et marnes du Cénomanien disparaissent à l'approche de la Belgique, conformément aux limites de dépôts (contours de la BDLISA).

La tendance générale de la carte isopaque est un épaississement vers le sud. Près de la limite de dépôt, les épaisseurs sont quasi-nulles, tandis qu'à proximité de la Picardie, les épaisseurs avoisinent les 150 m.

5.4. LE SUBSTRATUM : LES FORMATIONS DU CRETACE INFERIEUR, JURASSIQUE ET PRIMAIRE

Le toit illustré en annexe représente le toit de l'ensemble des formations antérieures au Crétacé supérieur. Ce n'est pas un « vrai » toit géologique car il regroupe tout un ensemble de formations d'âge variable entre 135 et 400 millions d'années ; c'est une surface d'érosion. L'altitude de cette surface varie entre -350 m NGF au nord-est de la Plaine des Flandres et +100 m NGF dans l'Artois (secteur où les terrains du Primaire affleurent : Pernes, Dennebroeucq, Audincthun, etc.).

Les résultats de modélisation sont satisfaisants au vu du nombre de sondages ayant atteint ces formations profondes.

Pour la modélisation hydrodynamique, le toit des formations antérieures au Crétacé correspondra à un substratum imperméable, sauf pour les calcaires carbonifères qui sont aquifères

6. Conclusion

Un *modèle géologique* a été créé dans le but de fournir au *modèle hydraulique* des écoulements souterrains de la nappe de la craie, la géométrie des formations aquifères ou aquicludes dans le secteur d'étude située dans la région Nord Pas-de-Calais. Ces formations sont au nombre de neuf et sont en interaction hydraulique avec la nappe de la craie.

Cette modélisation, réalisée sous *GDM* et *MultiLayer*, a pris en compte des données de plusieurs natures afin d'obtenir une géométrie des formations la plus proche possible de la réalité : logs géologiques validés de la Banque de données du Sous-Sol (BSS), carte géologique harmonisée régionale, Modèle Numérique de Terrain, thèse de Paul Caulier et BDLISA. Les comparaisons avec des coupes et d'autres modélisations régionales (thèse de B. Minguely) ont permis de pallier le manque de données ou l'imprécision des celles disponibles.

Les résultats de la modélisation des formations d'âges primaire, secondaire et tertiaire sont les cartes isohypses et isopaques de neuf entités, regroupés sur des critères hydrogéologiques. Ces résultats sont aussi disponibles dans un modèle numérique 3D qui sera utilisé par le logiciel MARTHE pour la modélisation des écoulements dans la nappe de la craie.

7. Bibliographie

Bourgine B. (2007) – Modélisation géologique 3D à l'aide du programme MultiLayer. Version 3. BRGM/RP-53111-FR, 197 p., 147 ill.

BRGM - Cartes géologiques n°2-Calais, n°3-Dunkerque, n°6-Guînes, n°7-Cassel, n°8-Steenvoorde, n°11-Desvres, n°12-Saint Omer, n°13-Hazebrouck, n°14-Lille, n°16-Montreuil, n°17-Fruges, n°18-Lillers, n°19-Béthune, n°20-Carvin, n°21-Saint Amand, n°24-Hesdin, n°25-Saint Pol sur Ternoise, n°26-Arras, n°27-Douai, n°28-Valenciennes, n°29-Le Quesnoy, n°35-Bapaume, n°36-Cambrai, n°37-Le Cateau au 1/50 000 et leurs notices, Ed. BRGM, Orléans.

Castany G., Margat J. (1987) – dictionnaire français d'hydrogéologie. Ed. BRGM.

Caulier P. (1974) – Etude des faciès de la craie et de leurs caractéristiques hydrauliques dans la région du Nord. Université des Sciences et Technologies de Lille 1.

Dufrenoy R., Petit V. avec la collaboration de Mardhel V. et Xu D. (2010) – Référentiel Hydrogéologique Français - BDLISA. Bassin Artois-Picardie. Années 3 et 4. Délimitation des entités hydrogéologiques de niveaux 1, 2 et 3 en régions Nord-Pas de Calais et Picardie. Rapport d'étape. BRGM/RP-57520-FR.

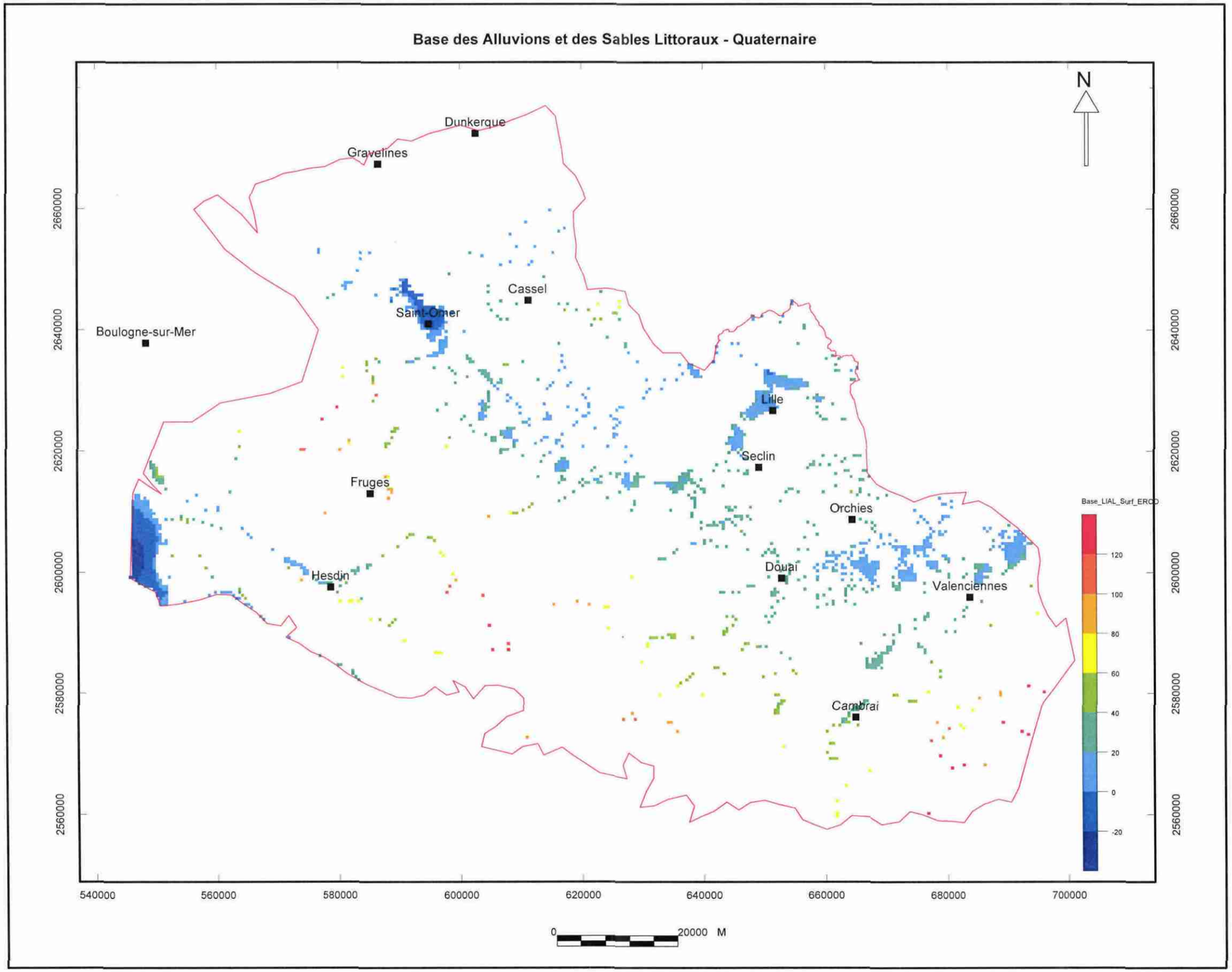
Lacquement F., Barchi P. & Quesnel F. (2004) – Carte géologique harmonisée de la région Nord-Pas-de-Calais. BRGM/RP-53484-FR, 188 p., 3 fig., 18 tabl., 1 ann., 2 pl. hors-texte.

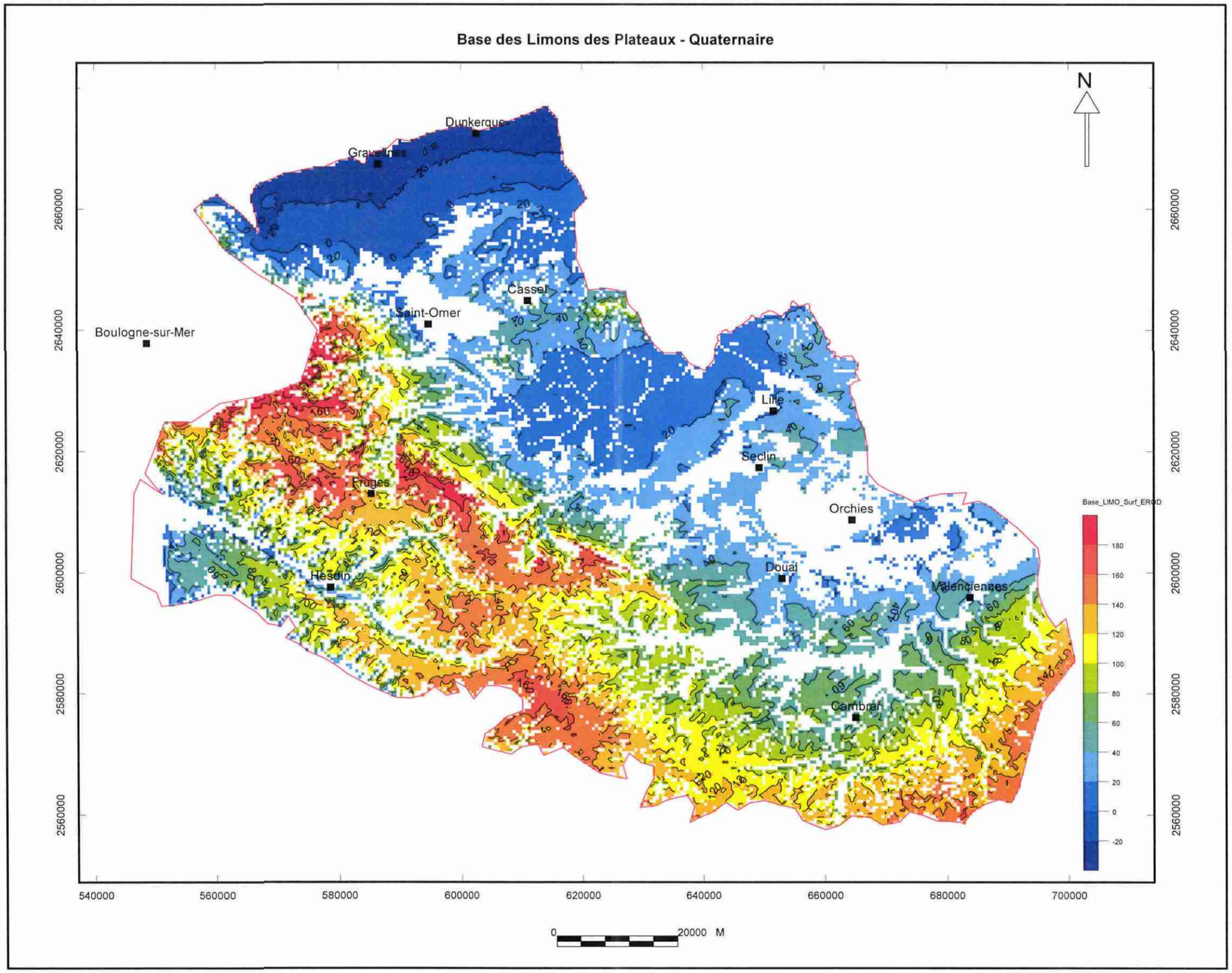
LEPRETRE J.-P., BLANCHIN R. (1999) – Numérisation des courbes isovaleurs des limites stratigraphiques et hydrogéologiques de la craie dans le bassin Artois-Picardie. Rapport BRGM-R-40699, 83 p., 16 ann.

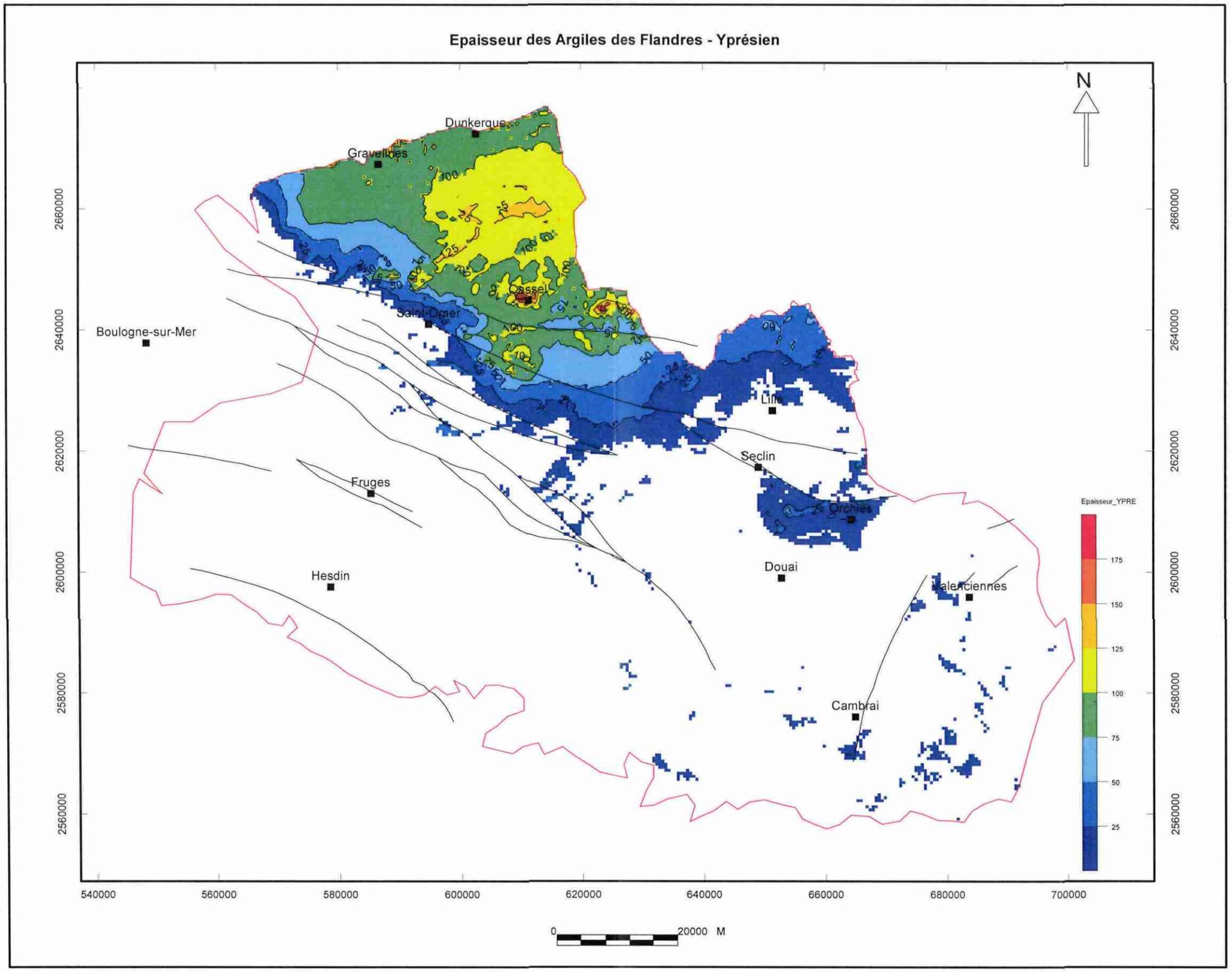
Minguely B. (2007) – Caractérisation géométrique 3-D de la couverture sédimentaire Méso-Cénozoïque et du substratum varisque dans le nord de la France : Apports des données de sondages et des données géophysiques. 230 p., 90 fig.,1 annexe.

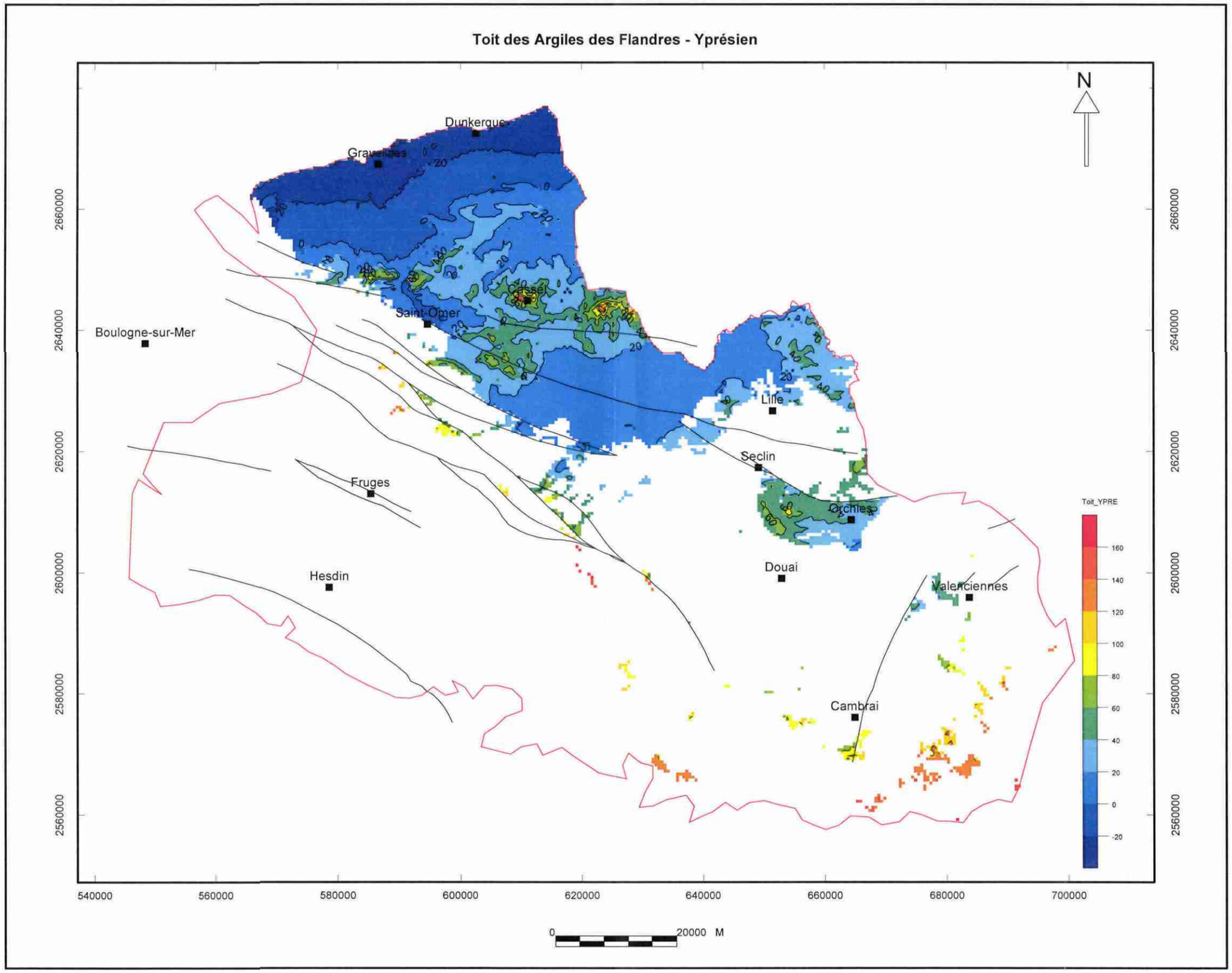
Annexe 1

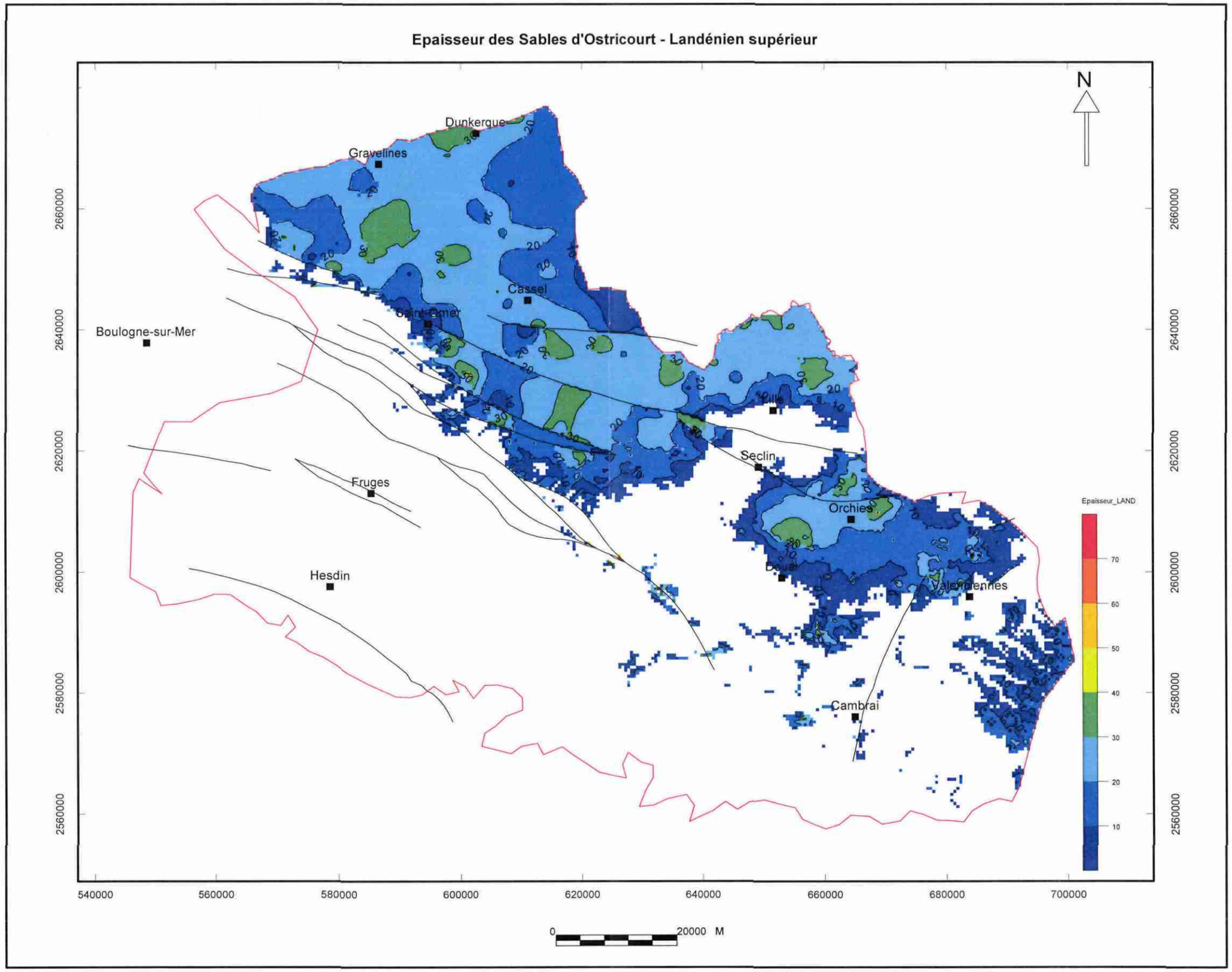
Cartes isohypses et isopaques des formations

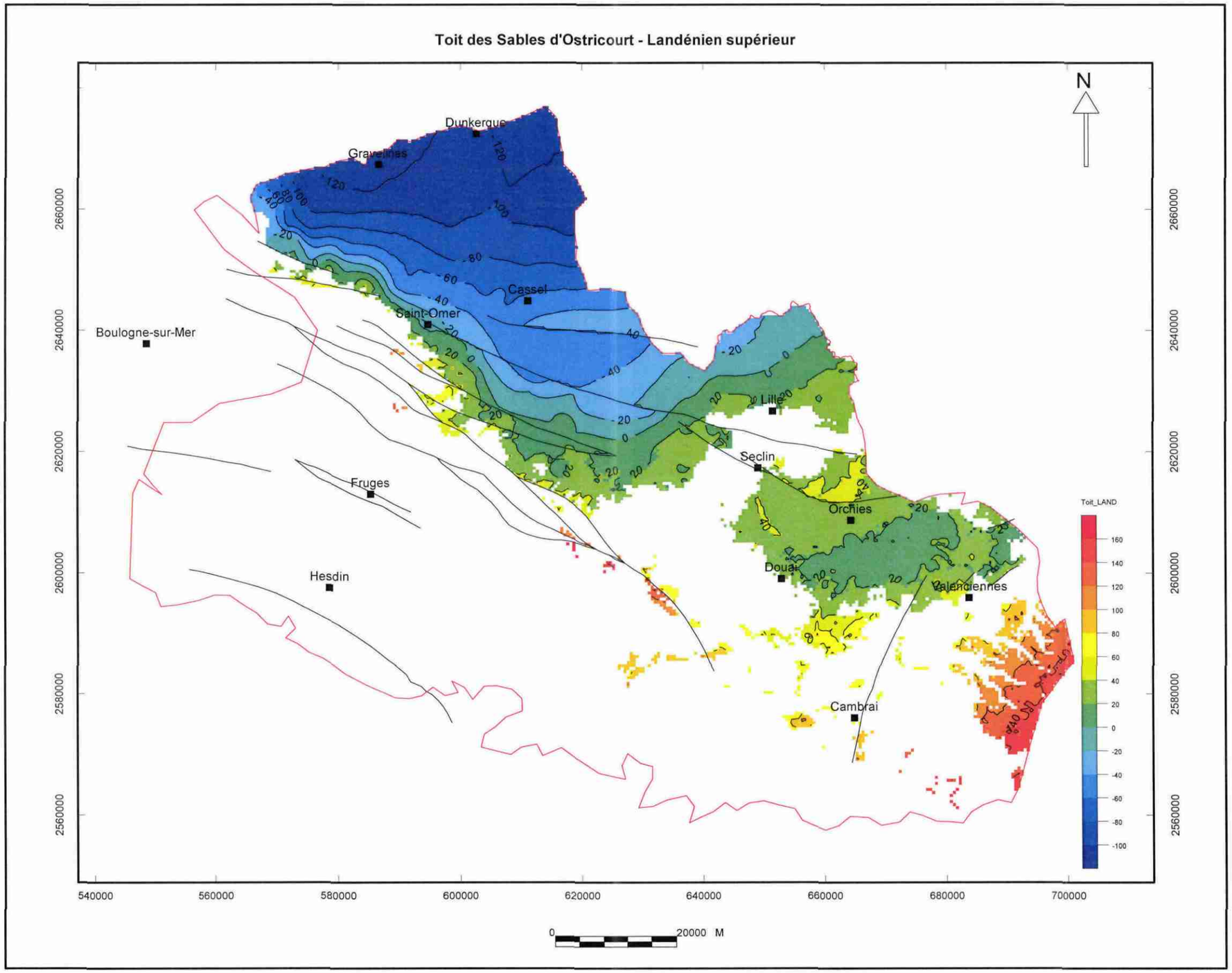

Base des Alluvions et des Sables Littoraux - Quaternaire
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Fruges
Orchies
Douai
Hesdin
Valenciennes
Cambrai
Base_LIAL_Surf_ERCD
120
100
80
60
40
20
0
-20
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

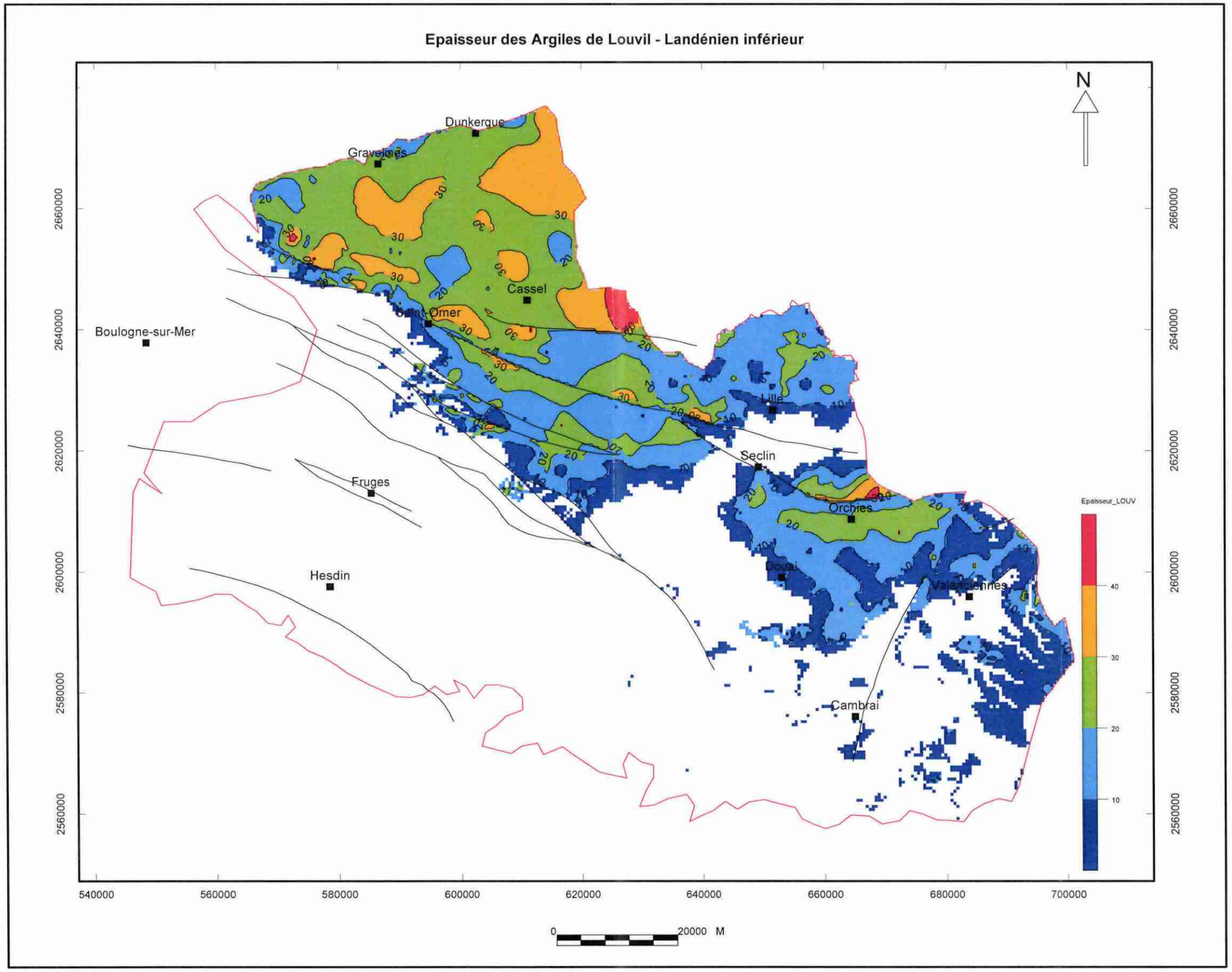

Base des Limons des Plateaux - Quaternaire
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Fruges
Orchies
Hesdin
Douai
Valenciennes
Cambrai
Base_LIMO_Surf_ERO0
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

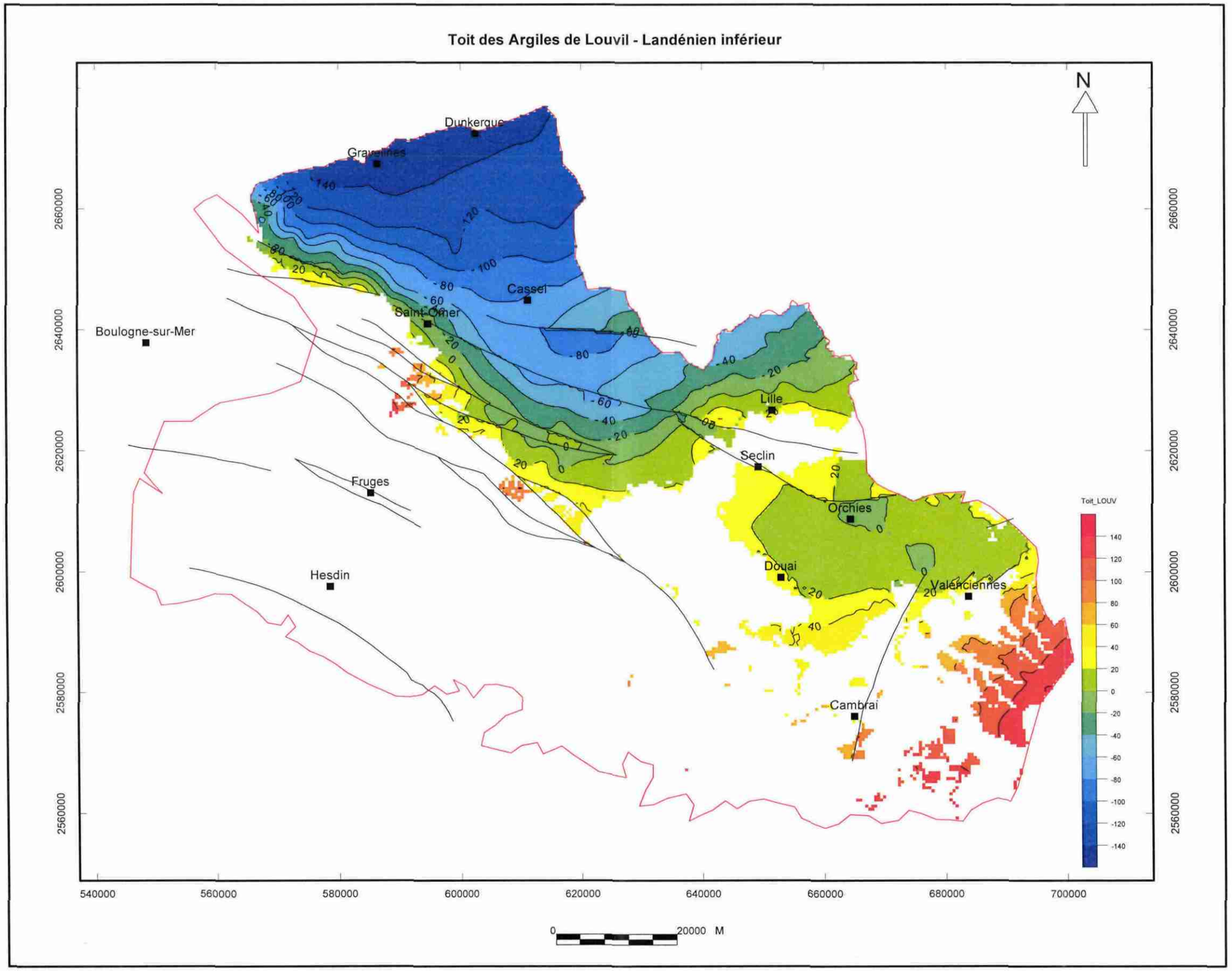

Epaisseur des Argiles des Flandres - Yprésien
N
Dunkerque
Gravelines
Boulogne-sur-Mer
Saint-Omer
Cassel
Lille
Seclin
Fruges
Douai
Hesdin
Valenciennes
Cambrai
Epaisseur_YPRE
175
150
125
100
75
50
25
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

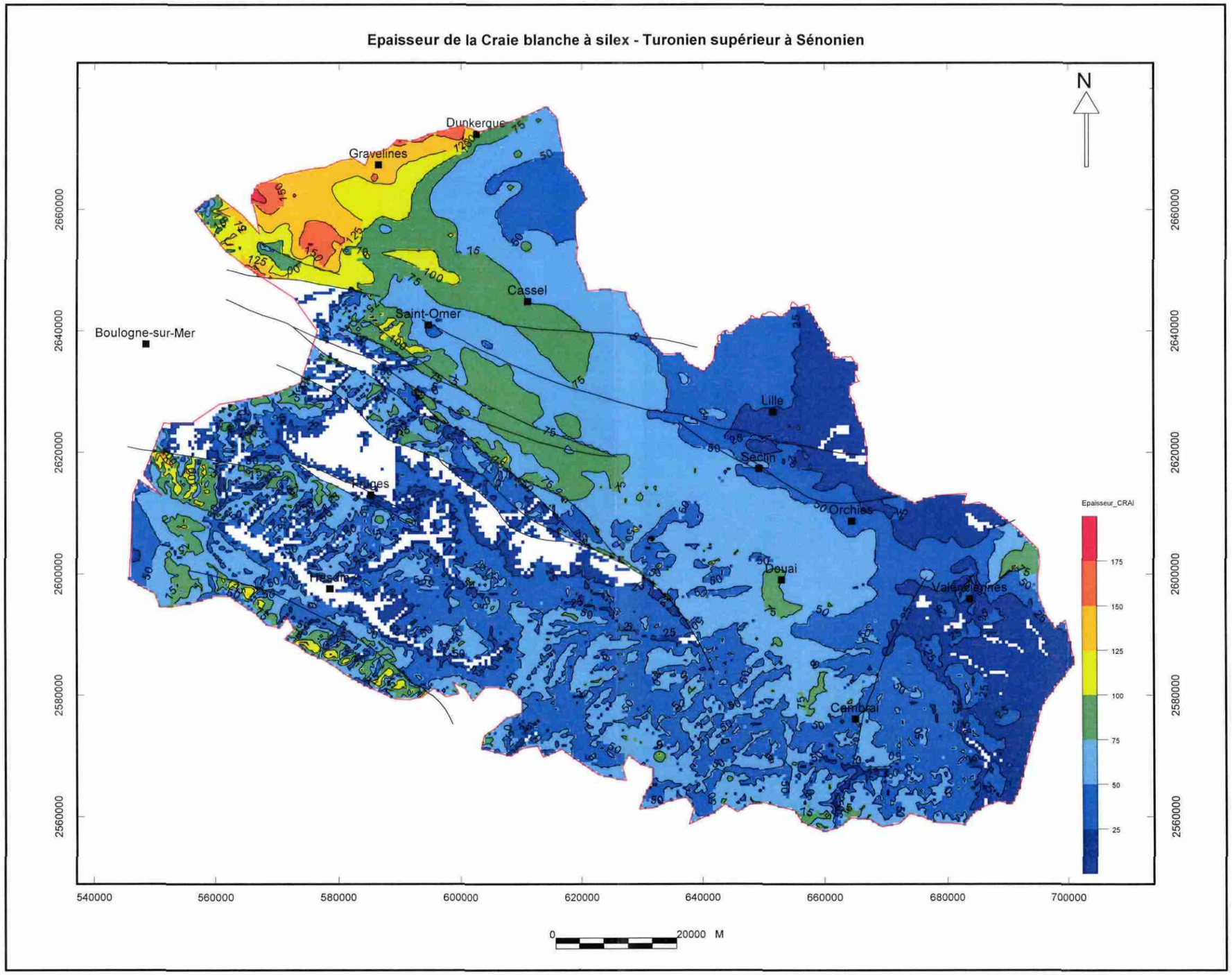

Toit des Argiles des Flandres - Yprésien
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Fruges
Orchies
Douai
Hesdin
Valenciennes
Cambrai
Toit_YPRE
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

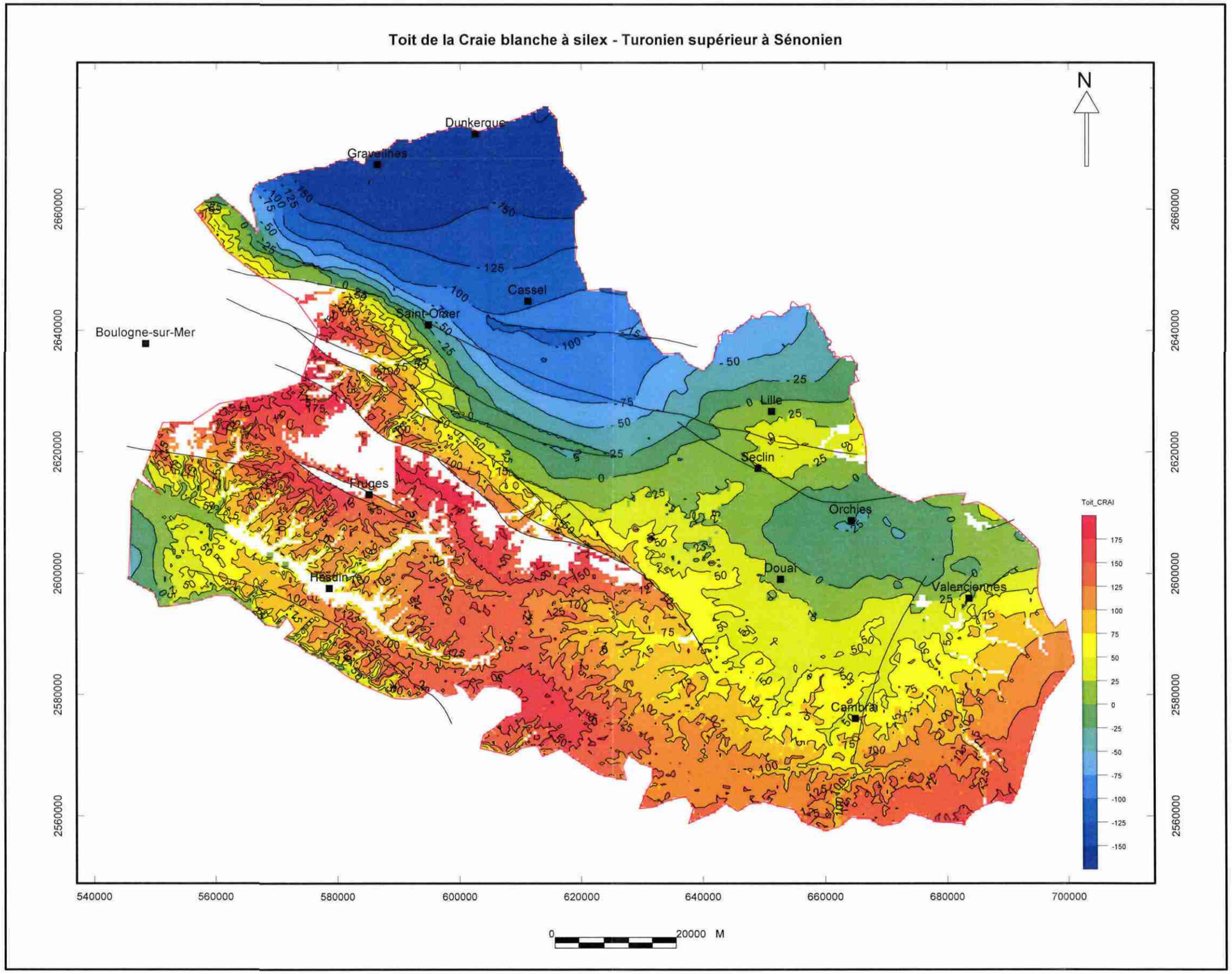

Epaisseur des Sables d'Ostricourt - Landénien supérieur
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Fruges
Orchies
Douai
Hesdin
Valenciennes
Cambrai
Epaisseur_LAND
70
60
50
40
30
20
10
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

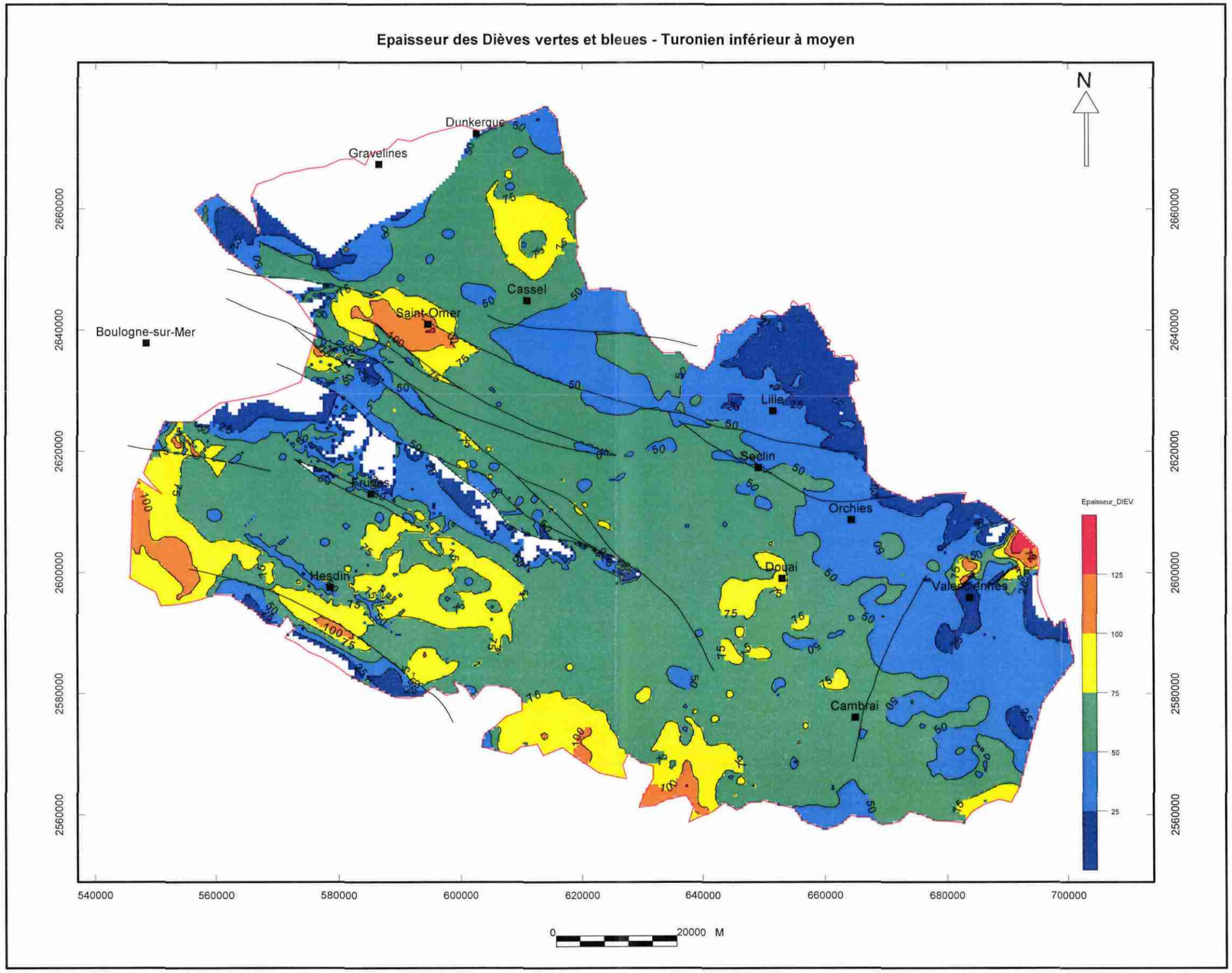

Toit des Sables d'Ostricourt - Landénien supérieur
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Fruges
Orchies
Douai
Hesdin
Valenciennes
Cambrai
Toit_LAND
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

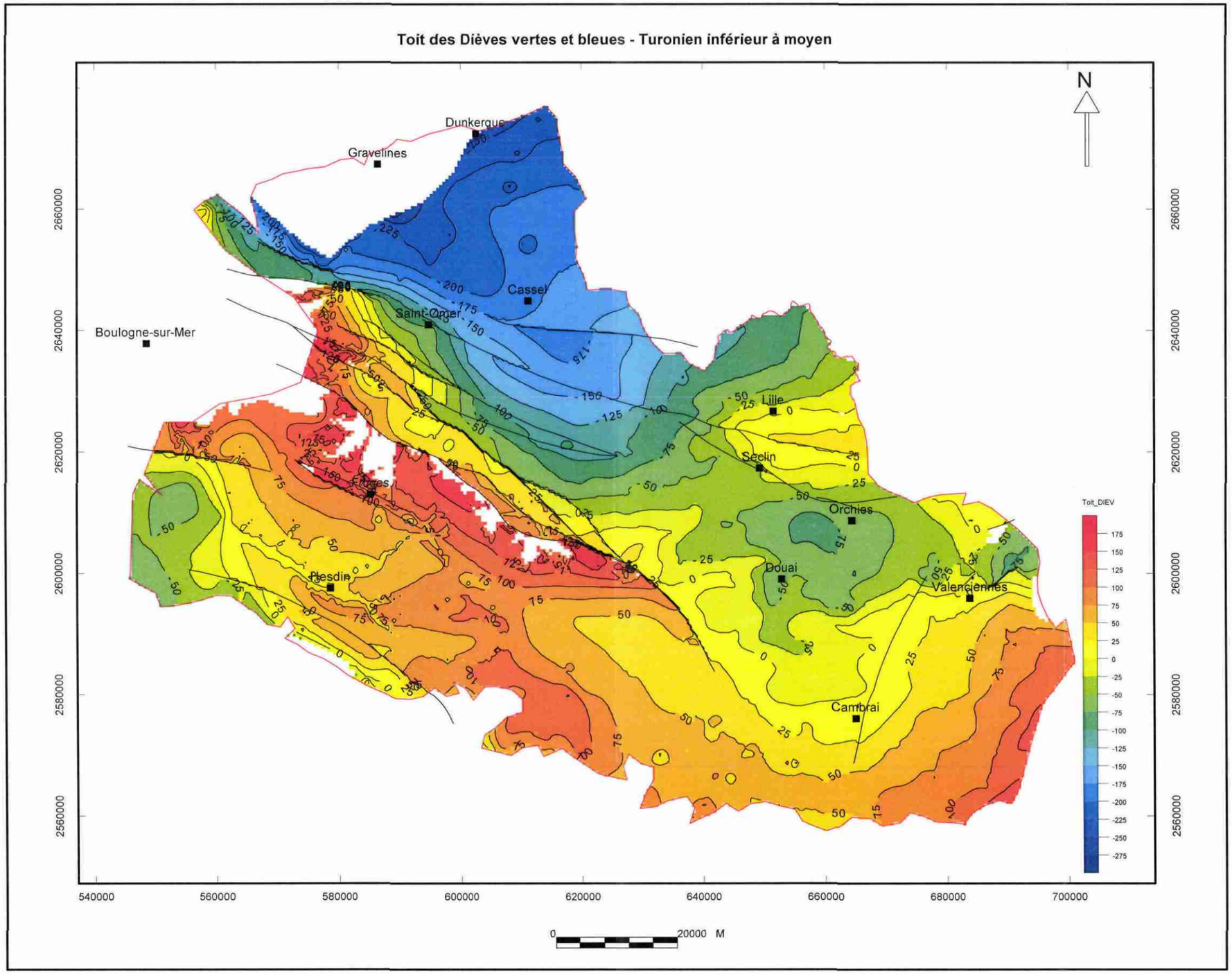

Epaisseur des Argiles de Louvil - Landénien inférieur
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Orchies
Fruges
Douai
Valenciennes
Hesdin
Cambrai
Epaisseur_LOUV
40
30
20
10
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

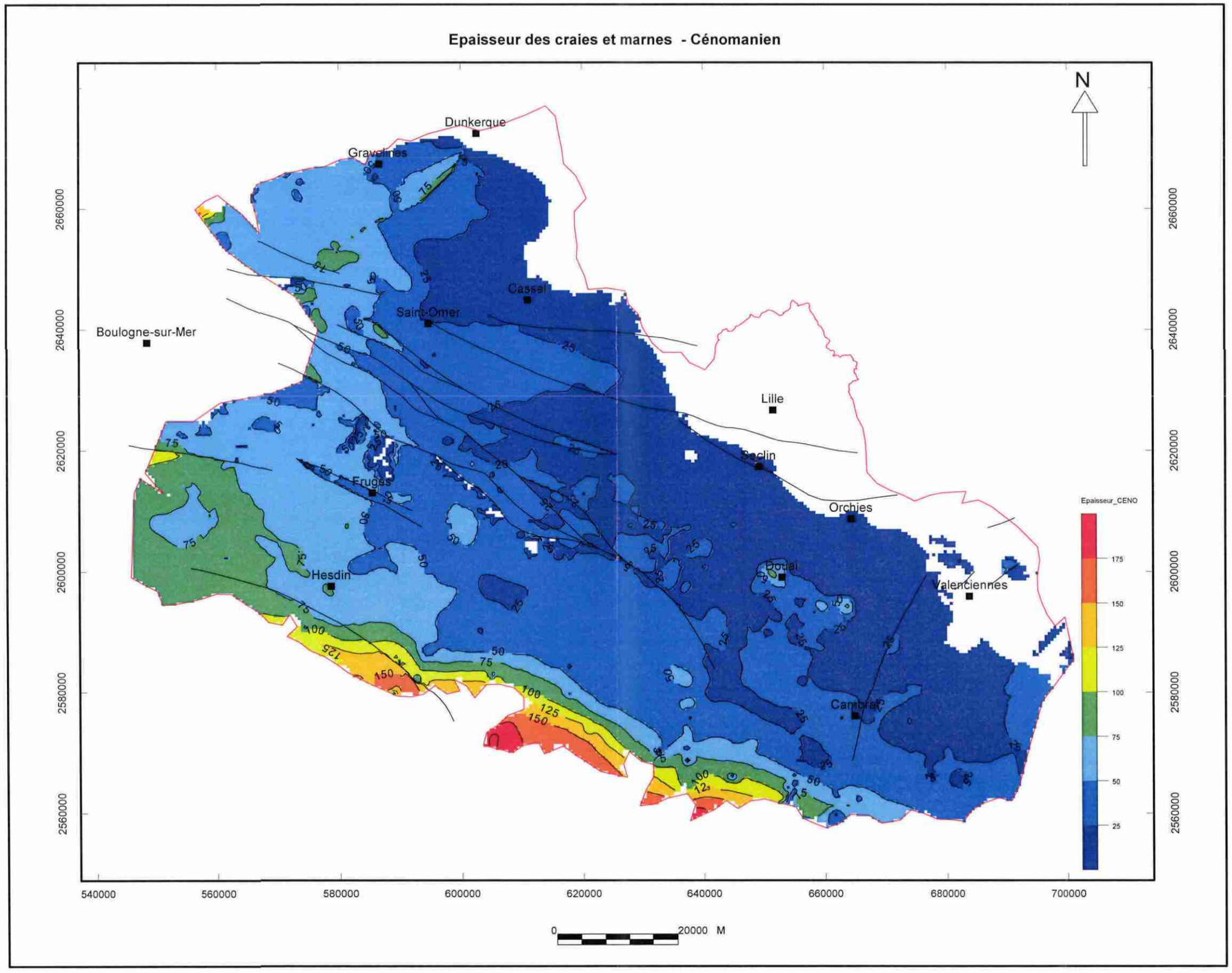

Toit des Argiles de Louvil - Landénien inférieur
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Fruges
Orchies
Douai
Valenciennes
Hesdin
Cambrai
Toit_LOUV
140
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

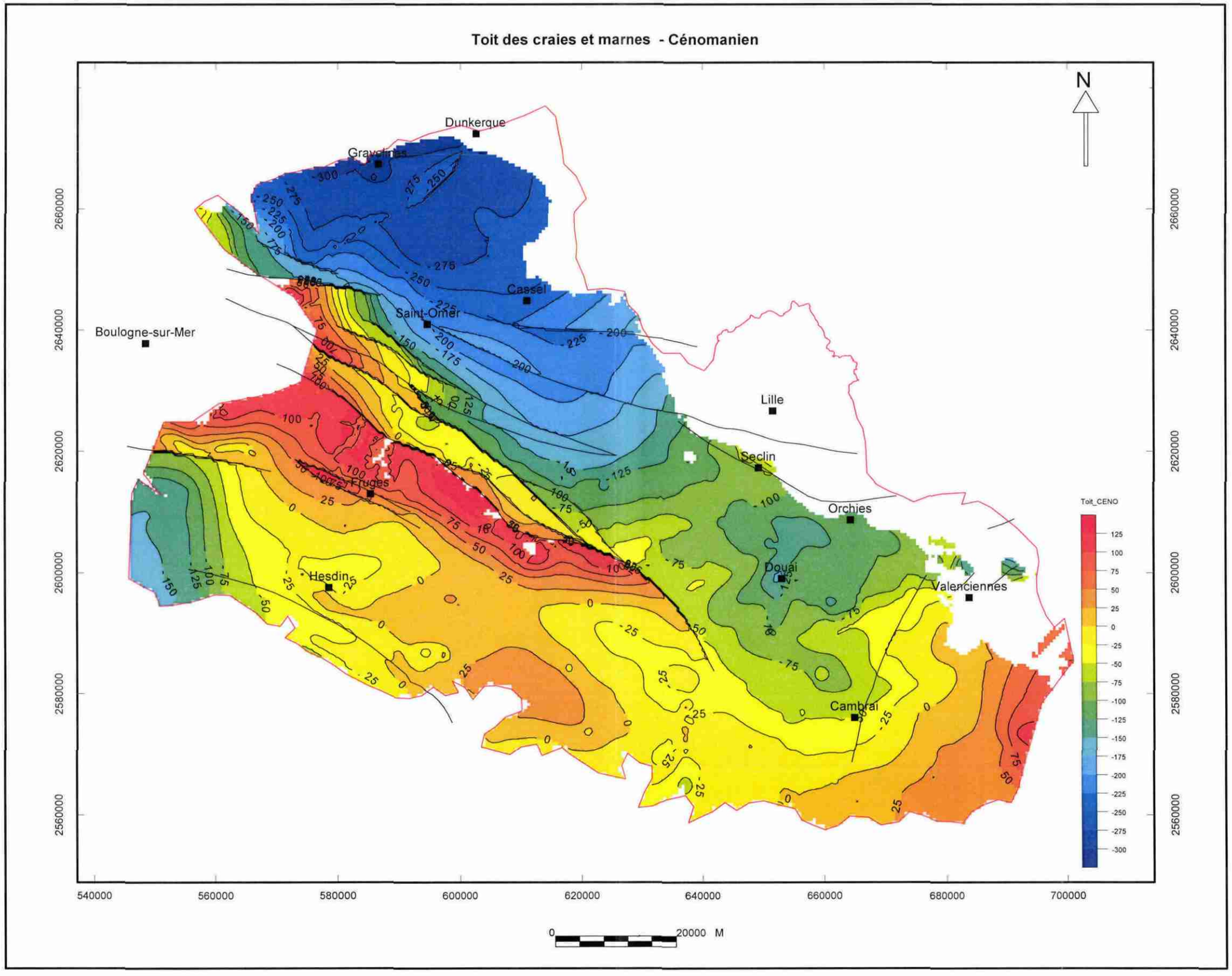

Epaisseur de la Craie blanche à silex - Turonien supérieur à Sénonien
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Orchies
Douai
Valenciennes
Cambrai
Epaisseur_CRAI
175
150
125
100
75
50
25
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
2560000
2580000
2600000
2620000
2640000
2660000
0
20000 M

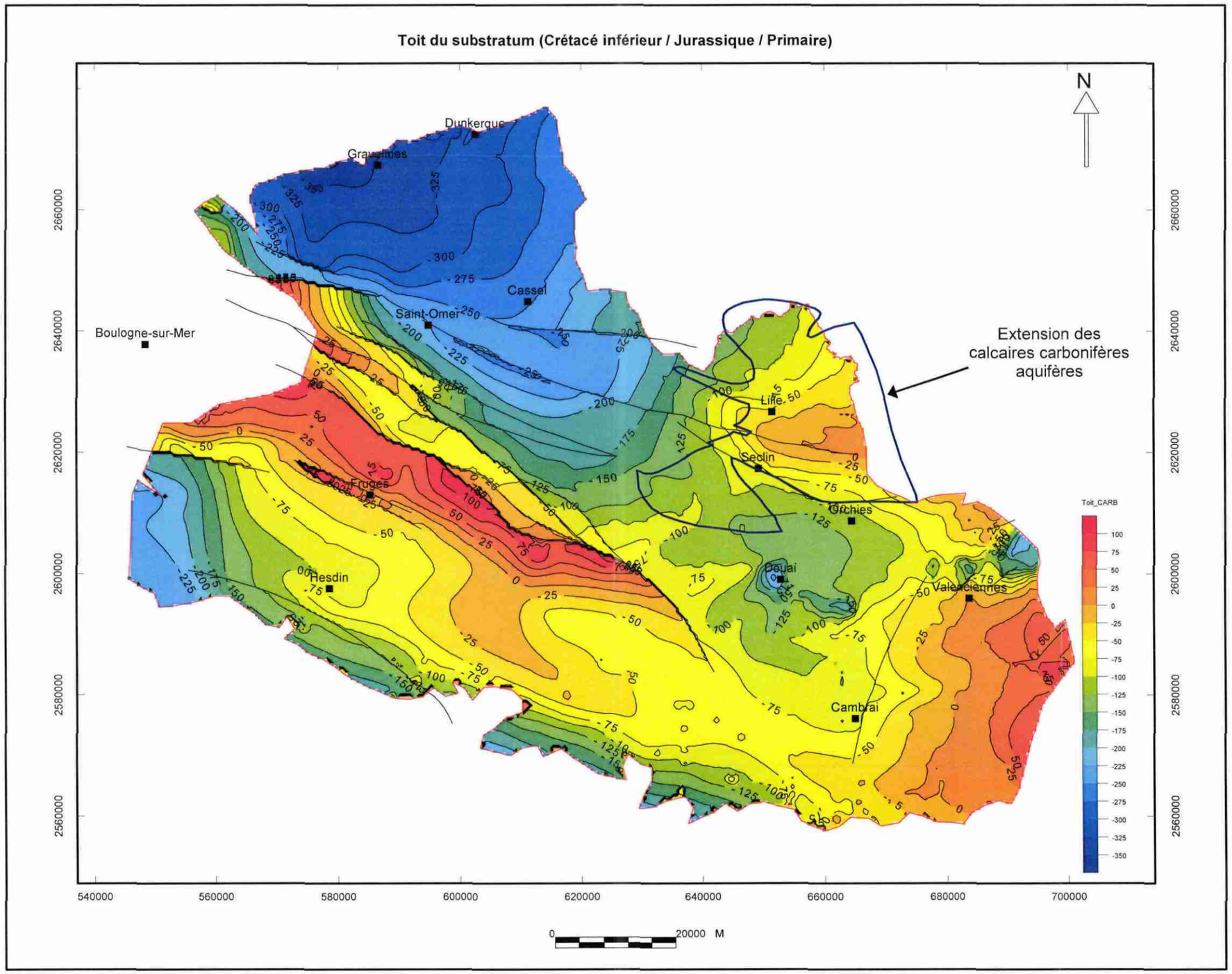

Toit de la Craie blanche à silex - Turonien supérieur à Sénonien
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Bruges
Orchies
Douai
Hesdin
Valenciennes
Cambrai
Toit_CRAI
175
150
125
100
75
50
25
0
-25
-50
-75
-100
-125
-150
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M


Epaisseur des Dièves vertes et bleues - Turonien inférieur à moyen
N
Dunkerque
Gravelines
Boulogne-sur-Mer
Saint-Omer
Cassel
Lille
Seclin
Orchies
Douai
Valenciennes
Cambrai
Hesdin
Epaisseur_DIEV
125
100
75
50
25
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
0
20000 M


Toit des Dièves vertes et bleues - Turonien inférieur à moyen
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Orchies
Douai
Valenciennes
Cambrai
Plesdin
Toit_DIEV
175
150
125
100
75
50
25
0
-25
-50
-75
-100
-125
-150
-175
-200
-225
-250
-275
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
2560000
2580000
2600000
2620000
2640000
2660000
0
20000 M


Epaisseur des craies et marnes - Cénomanien
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Orchies
Frugas
Hesdin
Douai
Valenciennes
Cambrai
Epaisseur_CENO
175
150
125
100
75
50
25
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
2560000
2580000
2600000
2620000
2640000
2660000
0
20000 M


Toit des craies et marnes - Cénomanien
N
Dunkerque
Gravelines
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Orchies
Douai
Valenciennes
Cambrai
Hesdin
Fruges
Toit_CENO
125
100
75
50
25
0
-25
-50
-75
-100
-125
-150
-175
-200
-225
-250
-275
-300
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M


Toit du substratum (Crétacé inférieur / Jurassique / Primaire)
N
Dunkerque
Grande-Synthe
Cassel
Saint-Omer
Boulogne-sur-Mer
Lille
Seclin
Orchies
Douai
Valenciennes
Cambrai
Fruges
Hesdin
Extension des calcaires carbonifères aquifères
Toit_CARB
100
75
50
25
0
-25
-50
-75
-100
-125
-150
-175
-200
-225
-250
-275
-300
-325
-350
2660000
2640000
2620000
2600000
2580000
2560000
540000
560000
580000
600000
620000
640000
660000
680000
700000
0
20000 M

Annexe 2

Coupes géologiques réalisées dans le modèle

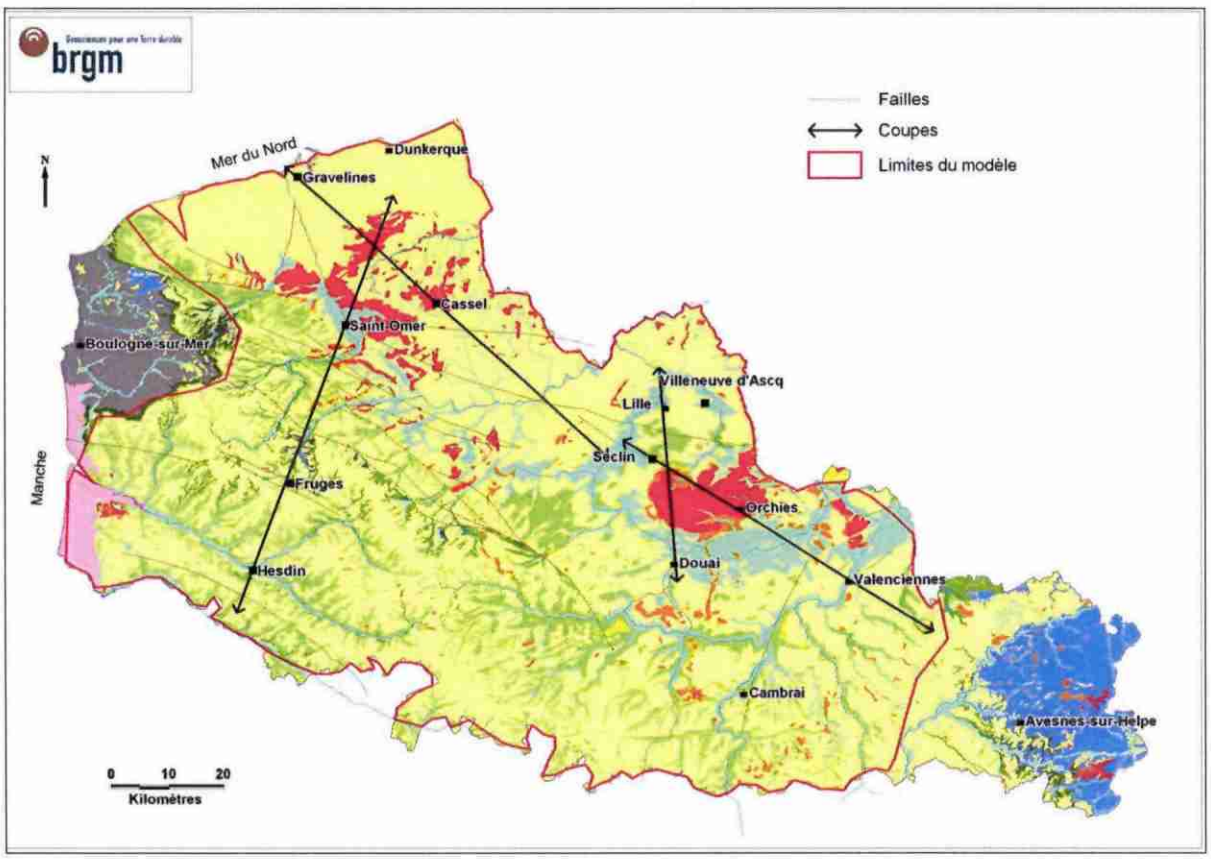
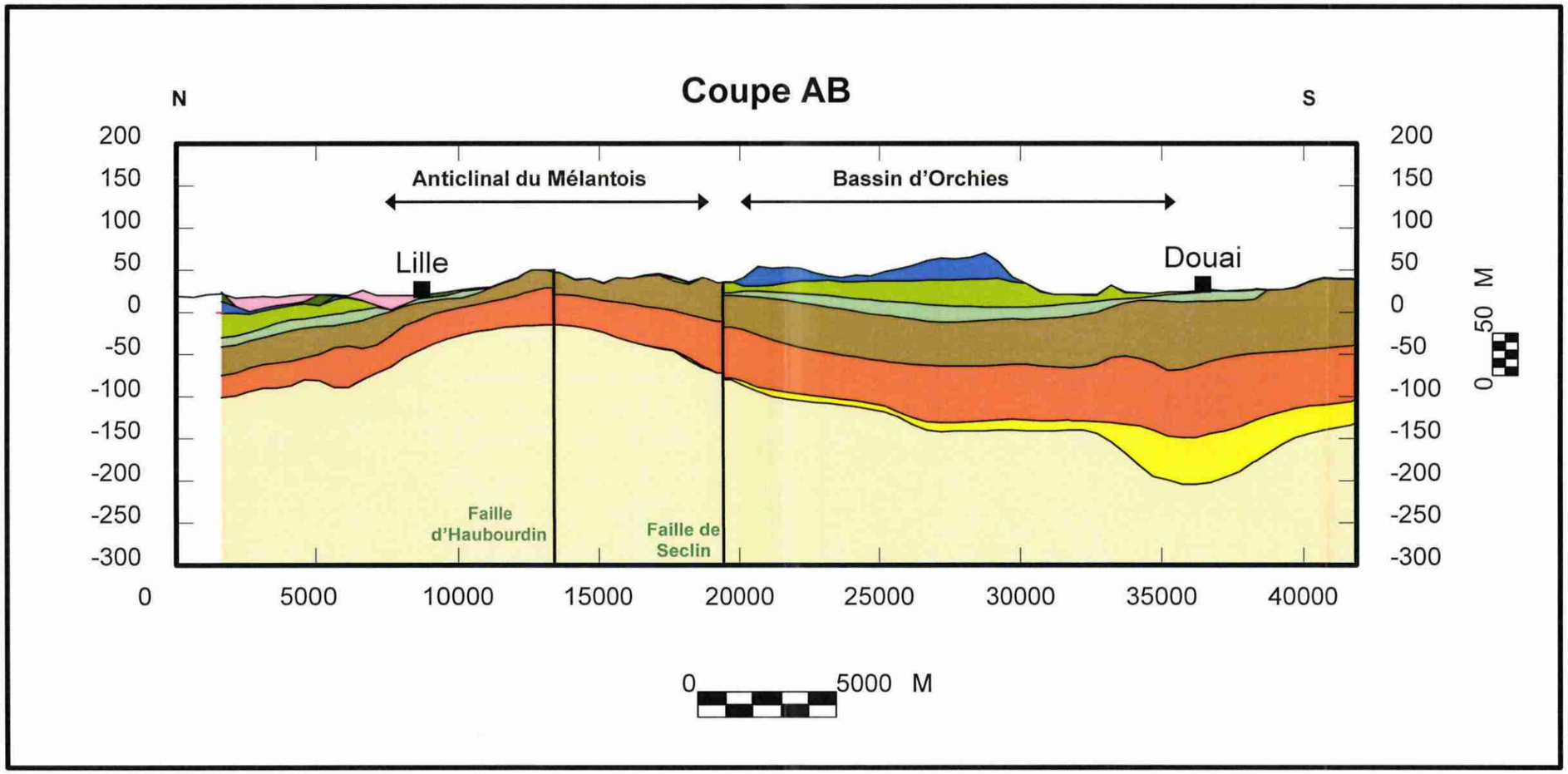
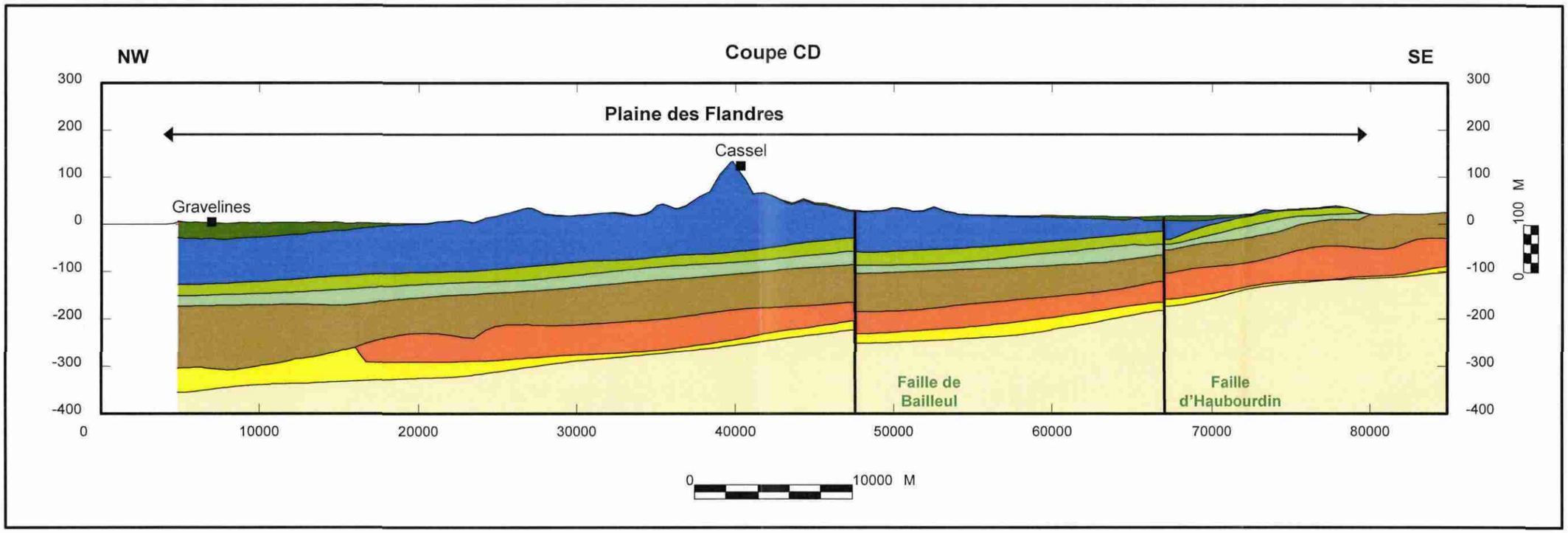


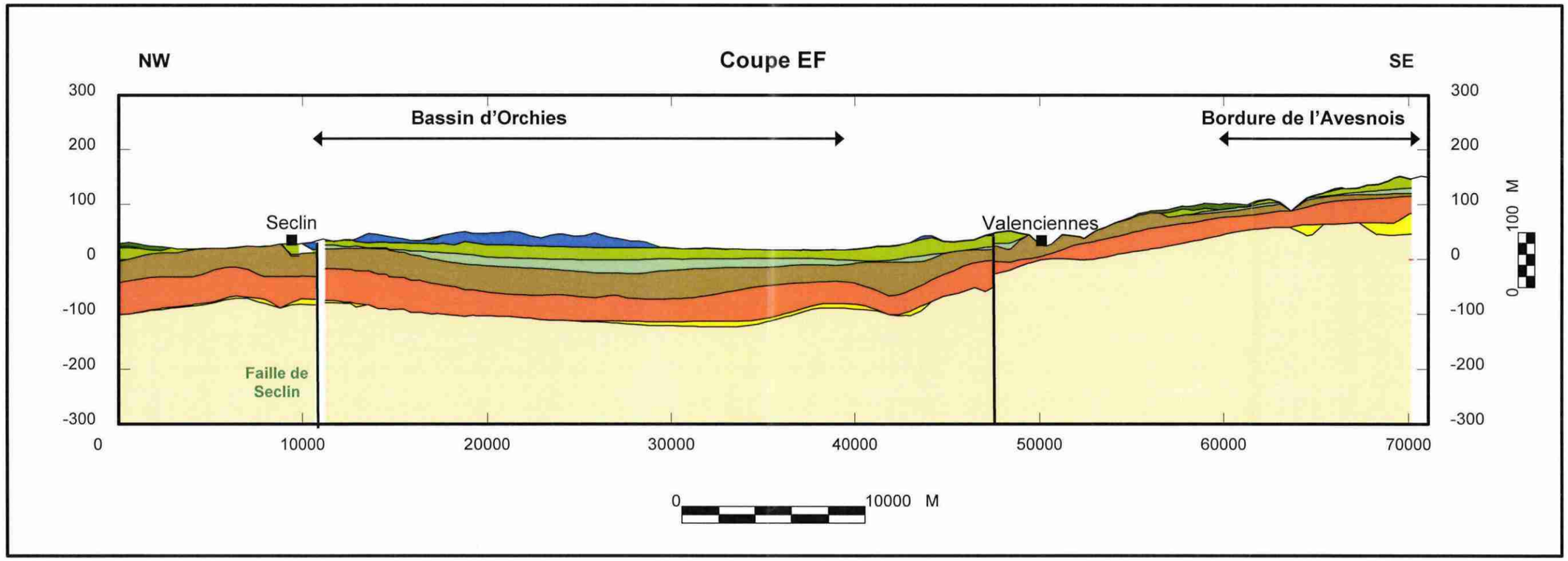
Figure 13 : Localisation des coupes géologiques réalisées dans le modèle



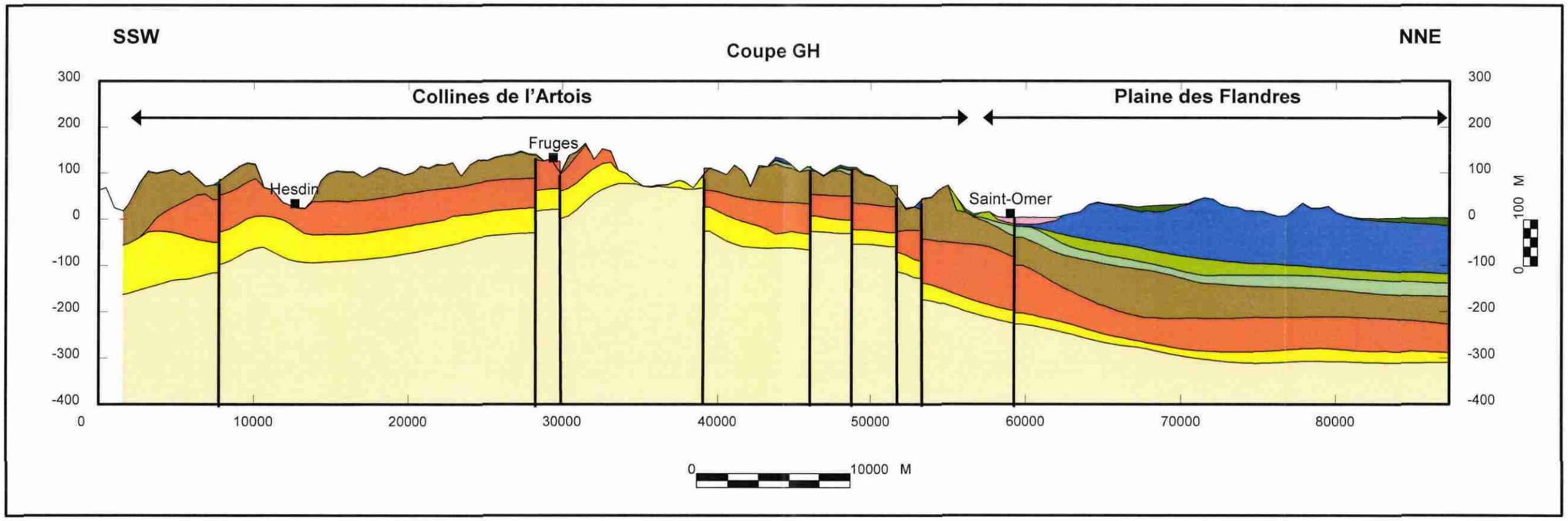
- Alluvions anciennes et modernes du Quaternaire ; sables littoraux du Quaternaire
- Limons des plateaux du Quaternaire
- Argiles des Flandres (Argiles d'Orchies et de Roubaix) de l'Yprésien
- Sables du Quesnoy, d'Ostricourt, de Grandglise et de Bracheux du Landénien supérieur (ou Thanétien supérieur)
- Argile de Louvil du Landénien inférieur (ou Thanétien inférieur)
- Craie blanche à silex du Turonien supérieur au Sénonien
- Dièves bleues et vertes du Turonien inférieur et moyen
- Craies et marnes du Cénomanien
- Le « Substratum » : comprenant l'ensemble des formations géologiques du Crétacé inférieur au Primaire



- Alluvions anciennes et modernes du Quaternaire ; sables littoraux du Quaternaire
- Limons des plateaux du Quaternaire
- Argiles des Flandres (Argiles d'Orchies et de Roubaix) de l'Yprésien
- Sables du Quesnoy, d'Ostricourt, de Grandglise et de Bracheux du Landénien supérieur (ou Thanétien supérieur)
- Argile de Louvil du Landénien inférieur (ou Thanétien inférieur)
- Craie blanche à silex du Turonien supérieur au Sénonien
- Dièves bleues et vertes du Turonien inférieur et moyen
- Craies et marnes du Cénomanien
- Le « Substratum » : comprenant l'ensemble des formations géologiques du Crétacé inférieur au Primaire



- Alluvions anciennes et modernes du Quaternaire ; sables littoraux du Quaternaire
- Limons des plateaux du Quaternaire
- Argiles des Flandres (Argiles d'Orchies et de Roubaix) de l'Yprésien
- Sables du Quesnoy, d'Ostricourt, de Grandglise et de Bracheux du Landénien supérieur (ou Thanétien supérieur)
- Argile de Louvil du Landénien inférieur (ou Thanétien inférieur)
- Craie blanche à silex du Turonien supérieur au Sénonien
- Dièves bleues et vertes du Turonien inférieur et moyen
- Craies et marnes du Cénomanien
- Le « Substratum » : comprenant l'ensemble des formations géologiques du Crétacé inférieur au Primaire



- Alluvions anciennes et modernes du Quaternaire ; sables littoraux du Quaternaire
- Limons des plateaux du Quaternaire
- Argiles des Flandres (Argiles d'Orchies et de Roubaix) de l'Yprésien
- Sables du Quesnoy, d'Ostricourt, de Grandglise et de Bracheux du Landénien supérieur (ou Thanétien supérieur)
- Argile de Louvil du Landénien inférieur (ou Thanétien inférieur)
- Craie blanche à silex du Turonien supérieur au Sénonien
- Dièves bleues et vertes du Turonien inférieur et moyen
- Craies et marnes du Cénomanien
- Le « Substratum » : comprenant l'ensemble des formations géologiques du Crétacé inférieur au Primaire

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Nord-Pas-de-Calais
Synergie Park
6 ter rue Pierre et Marie Curie
59260 – Lezennes - France
Tél. : 03.20.19.15.40