



# Modélisation géologique multicouche Bresse, Dombes, Bas-Dauphiné, Couloir rhodanien

## Méthodologie de réalisation, guide d'utilisation des produits numériques

### Rapport final

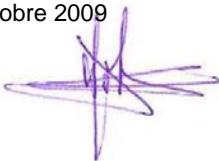
**BRGM/RP-57712-FR**  
janvier 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM PSP06RHA13 et PSP05BOU06

**R. Couëffé et B. Tourlière**

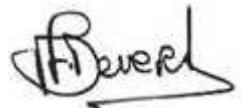
**Vérificateur :**

Nom : J. NICOLAS  
Date : 13 octobre 2009  
Signature :



**Approbateur :**

Nom : F. DEVERLY  
Date : 13 octobre 2009  
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 9001:2000.**

**Mots clés :** modélisation multicouche, isohypsies, Bresse, Dombes, Bas-Dauphiné, Couloir rhodanien

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : R. Couëffé et B. Tourlière, (2008) - Modélisation géologique multicouche Bresse, Dombes, Bas-Dauphiné, Couloir rhodanien - Méthodologie de réalisation, guide d'utilisation des produits numériques - Rapport final. BRGM/RP-57712-FR, 62 p. - 10 Fig., 1 tab. - 1 ann. de 21 cartes.

© BRGM, 2008, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Sommaire

<b>1. Objet de l'étude .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Construction d'un modèle multicouche : Généralités .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Choix des niveaux à cartographier - Définition de piles lithostratigraphiques ..</b>	<b>9</b>
<b>4. Données intégrées aux modèles .....</b>	<b>15</b>
4.1. PILES LITHOSTRATIGRAPHIQUES .....	15
4.2. TOPOGRAPHIE DE SURFACE .....	15
4.3. INFORMATIONS GEOLOGIQUES DE SURFACE .....	16
4.4. INFORMATIONS GEOLOGIQUES DE SUBSURFACE .....	16
4.4.1. Sondages géologiques .....	16
4.4.2. Données sismiques .....	19
4.5. SCHEMA STRUCTURAL .....	24
<b>5. Paramètres de calcul des modèles .....</b>	<b>27</b>
<b>6. Clés de lecture des cartes en isohypes / isopaques fournies.....</b>	<b>29</b>
<b>7. Incertitudes et limites d'usage des données fournies .....</b>	<b>33</b>

## Liste des illustrations

Figure 1 – Limite de la zone modélisable en région Rhône-Alpes sur fond géologique à 1/1 000 000 .....	4
Figure 2 - Limites des deux modèles multicouches réalisés dans le cadre de cette étude sur fond géologique à 1/1 000 000 .....	11
Figure 3 – Colonne lithostratigraphique synthétique des terrains paléozoïques à cénozoïques, utilisée pour la confection du modèle nord couvrant la vallée de Saône, la Bresse et les Dombes. Descriptions lithologiques succinctes, épaisseurs approximatives, stratigraphie, codage simplifié et position des niveaux cartographiés. ....	12
Figure 4 – Colonne lithostratigraphique synthétique des terrains paléozoïques à cénozoïques, utilisée pour la confection du modèle nord couvrant la vallée de Saône, la Bresse et les Dombes. Descriptions lithologiques succinctes, épaisseurs approximatives, stratigraphie, codage simplifié et position des niveaux cartographiés. ....	13

Figure 5 – Piles lithostratigraphiques synthétiques utilisées pour la confection des modèles. A : Modèle nord. B : Modèle sud. ....	15
Figure 6 – Localisation des sondages géologiques utilisés pour la confection des modèles nord et sud, sur fond géologique à 1/1 000 000 .....	18
Figure 7 – Localisation des lignes sismiques retraitées, sur fond géologique à 1/1 000 000.....	19
Figure 8 – Localisation des points de conversion temps-profondeur échantillonnes le long des profils sismiques retraités, sur fond géologique à 1/1 000 000. ....	20
Figure 9 – Schéma structural pris en compte pour la construction du modèle nord.....	25
Figure 10 – Schéma structural pris en compte pour la construction du modèle sud .....	26

## Liste des tableaux

Tableau 1 –Statistiques sur le nombre d'ouvrages atteignant les niveaux cartographiés dans les modèles nord et sud.....	17
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## Liste des annexes

Annexe 1 Annexe cartographique .....	35
--------------------------------------	----

Modèle	Carte	Page
<b>Modèle Nord (Bresse, Dombes)</b>	Cartographie en isohypses du mur du Plio-Quaternaire Cartographie en isopaques du Plio-Quaternaire Cartographie en isohypses du mur du Miocène molassique Cartographie en isopaques du Miocène molassique Cartographie en isohypses du mur du l'Oligocène Cartographie en isohypses du mur du l'Eocène Cartographie en isohypses du mur du Cénozoïque : Tertiaire Cartographie en isopaques du Cénozoïque : Tertiaire Cartographie en isohypses du toit du Jurassique supérieur calcaire Cartographie en isohypses du toit du Dogger calcaire	37 38 39 40 41 42 43 44 45 46
<b>Modèle Sud (Bas-Dauphiné, Couloir Rhodanien)</b>	Cartographie en isohypses du mur du Plio-Quaternaire Cartographie en isopaques du Plio-Quaternaire Cartographie en isohypses du mur du Miocène molassique Cartographie en isopaques du Miocène molassique Cartographie en isohypses du mur du l'Oligocène Cartographie en isohypses du mur du l'Eocène Cartographie en isohypses du mur du Cénozoïque : Tertiaire Cartographie en isopaques du Cénozoïque : Tertiaire Cartographie en isohypses du toit du Crétacé inférieur calcaire Cartographie en isohypses du toit du Jurassique supérieur calcaire Cartographie en isohypses du toit du Dogger calcaire	47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57

## 1. Objet de l'étude

Dans le cadre de l'actualisation de la synthèse hydrogéologique, réalisée en partenariat avec l'Agence de l'Eau Rhône, Méditerranée & Corse, et à la demande des Services Géologiques Régionaux Bourgogne et Rhône-Alpes, l'unité Géologie des Bassins Sédimentaires du BRGM a procédé à une modélisation multicouche des principales unités géologiques, afin de servir de support :

- à la délimitation des entités hydrogéologiques profondes en région Rhône-Alpes ;
- à la détermination de zones potentiellement favorables à l'implantation de forages profonds pour la recherche d'eau dans l'emprise de la zone d'étude définie en Bourgogne.

La continuité géographique et géologique de l'emprise des deux études et la similitude des objectifs visés dans le cadre de ces projets ont conduit le BRGM à réaliser un travail unique de modélisation sur les deux régions, afin de s'assurer d'une homogénéité dans la méthodologie employée et dans la qualité des résultats obtenus.

La caractérisation géométrique des entités hydrogéologiques profondes a été effectuée à l'aide des logiciels GDM<sup>©</sup> et MultiLayer<sup>©</sup> développés par le BRGM, sur la base des données publiques disponibles à la date du 1<sup>er</sup> novembre 2007.

Signalons que la modélisation en isohypses de 7 niveaux, telle qu'envisagée comme produit livré de la prestation de l'unité GEO/GBS n'est pas applicable dans les zones fortement plissées et/ou affectées par des failles inverses. Dans le contexte régional des études, cette contrainte structurale restreint le domaine géographique pour lequel une modélisation simplifiée a été possible, au domaine situé entre la bordure orientale du Massif Central et le front du domaine subalpin. La zone modélisable se réduit par conséquent à la Bresse méridionale, aux Dombes, au Bas-Dauphiné et au Couloir rhodanien.

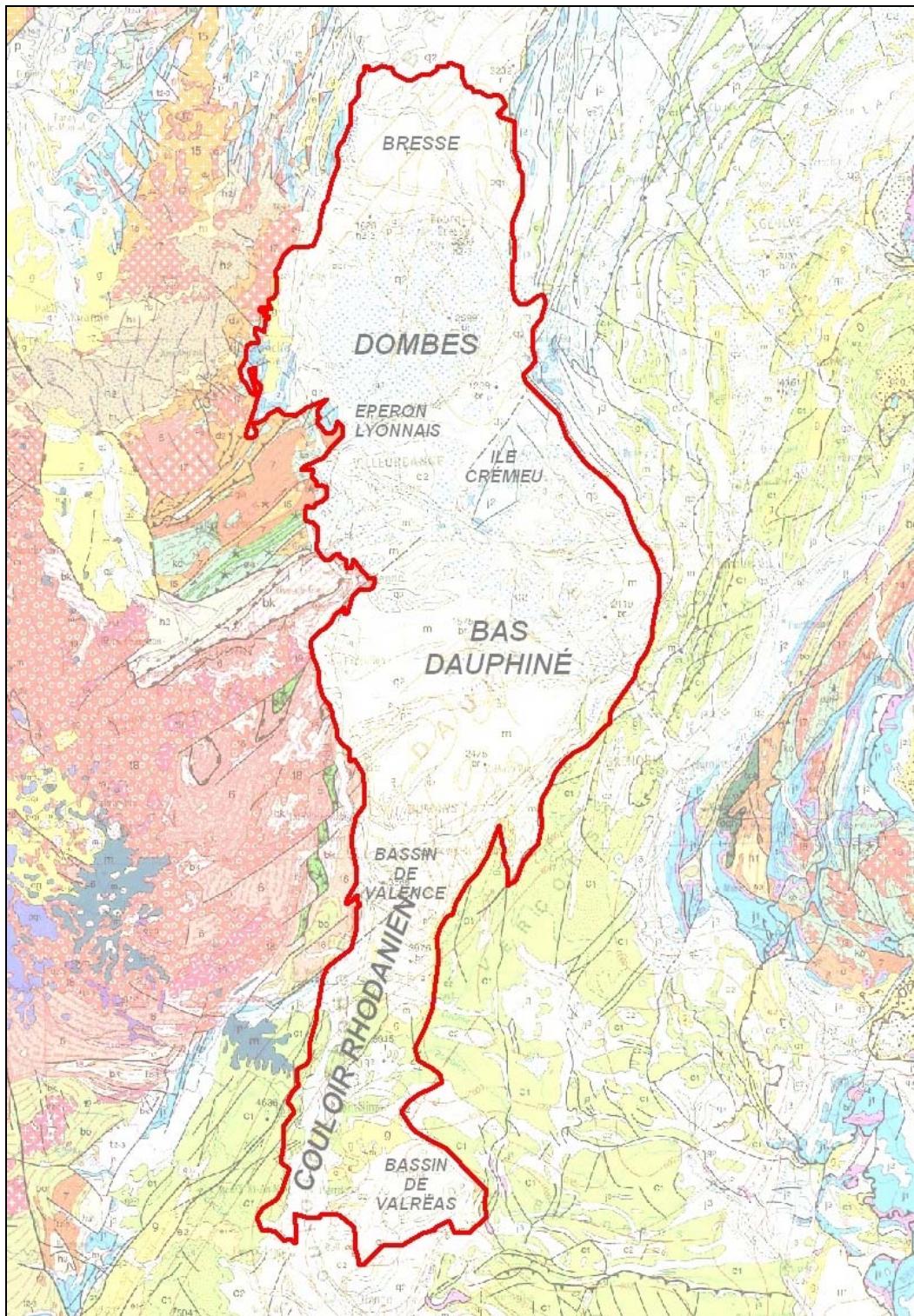


Figure 1 – Limite de la zone modélisable en région Rhône-Alpes  
sur fond géologique à 1/1 000 000.

## 2. Construction d'un modèle multicouche : Généralités

La caractérisation géométrique des entités hydrogéologiques profondes a été réalisée à l'aide des logiciels GDM® et MultiLayer® développés par le BRGM. GDM® sert principalement aux calculs d'interpolation. MultiLayer® permet quant à lui (1) de préparer et de vérifier la cohérence des données géologiques entre elles, (2) de réaliser la modélisation en contraignant les calculs d'interpolation sur la base des données géologiques et en prenant en compte les relations entre les couches.

Le fonctionnement du modèle géologique réalisé à partir de ces outils repose sur 3 principes :

- la définition d'une pile lithostratigraphique qui décrit la succession des unités géologiques et les relations entre 2 unités successives ;
- l'interprétation des données géologiques de surface et de sub-surface (leur codage) suivant la norme fournie par la pile lithostratigraphique ;
- l'interpolation des surfaces (toit et mur) et leur combinaison en fonction des données géologiques et de la logique induite par la pile lithostratigraphique.

La construction d'un modèle multicouche nécessite plusieurs types de données parmi lesquelles :

- une unique pile lithostratigraphique ;
- une topographie de surface ;
- l'information géologique de surface fournie par les contours et polygones des formations figurés sur les cartes géologiques à 1/50 000 ;
- l'information géologique de subsurface fournie par les sondages géologiques interprétés et par l'interprétation des profils sismiques ;
- un réseau de failles.

Une fois toutes les données préparées et codées suivant la pile lithostratigraphique définie, un contrôle de cohérence entre toutes les données est réalisé par :

- *comparaison des altitudes des têtes de puits avec le MNT.* Cette étape permet de vérifier que la cote de départ des forages est cohérente avec le modèle numérique de terrain. Les incohérences recensées sont souvent liées à des erreurs de localisation des données géologiques qui doivent être corrigées ;
- *comparaison des données de forages avec les informations provenant de la carte géologique.* Il s'agit de vérifier que la première formation rencontrée par les forages est cohérente avec les affleurements issus de la carte géologique. Les incohérences relevées sont souvent le fait d'une erreur de positionnement du forage, d'une mauvaise interprétation du forage, d'une erreur de saisie, d'une

imprécision dans le tracé de la carte géologique ou de la faible épaisseur des objets géologiques étudiés ;

- *comparaison des données proches.* Il s'agit d'analyser les variations d'épaisseurs ou d'altitude des formations considérées, entre tous les couples de points proches. L'analyse des résultats permet là encore d'identifier des anomalies potentielles imputables à des erreurs de positionnement, de saisie ou d'interprétation des données ;
- *comparaison des données codées avec des grilles existantes.* La comparaison avec d'anciens travaux permet d'identifier les points qui ne sont pas en accord avec le modèle existant. Il peut s'agir de points exacts dont ne disposait pas l'étude antérieure, ou de points jugés erronés qui avaient été éliminés lors des études antérieures. Cette étape de contrôle permet de confronter les points jugés erronés avec d'éventuelles nouvelles données pour confirmer ou non leur élimination, reprendre ou non leur interprétation.

Après contrôle de cohérence des données, la construction du modèle se déroule en plusieurs étapes :

- *l'analyse géostatistique des données.* Elle est réalisée afin de caractériser les fluctuations latérales des variables servant à la modélisation géométrique (toit et mur – voir épaisseur - des formations géologiques). Il est ainsi possible de mettre en évidence d'éventuelles anisotropies et de quantifier le degré de variabilité de chaque formation. Les paramètres obtenus sont utilisés pour les calculs ;
- *le choix des paramètres de l'interpolation.* Ils doivent être choisis à partir de l'analyse précédente, afin d'être adaptés aux caractéristiques spatiales de chaque variable ou formation étudiée. La méthode d'interpolation fréquemment utilisée est le krigeage avec modèle géostatistique, méthode d'interpolation exacte qui permet de garder les valeurs aux points d'observation. Il est possible de faire intervenir le réseau de failles dans le calcul de l'interpolation, les failles jouant alors le rôle de barrière pour le calcul ;
- *l'interpolation des surfaces et la vérification des contraintes d'inégalité.* L'interpolation de chaque surface (toit ou mur) doit prendre en compte non seulement les valeurs exactes de ces toits / murs (points où un sondage a effectivement rencontré ces toits / murs), mais aussi les points où ces toits / murs n'ont pas été atteints. Pour exemple, le mur d'une formation, une fois calculé en tout point, doit passer en dessous des forages qui n'ont pas traversé toute la formation. Le modèle doit donc vérifier ces contraintes, dites d'inégalité ;
- *l'injection de points de contrainte.* Lorsque le modèle n'est pas cohérent avec ces contraintes d'inégalité, il convient d'en examiner la cause qui, bien souvent, est une densité insuffisante d'information. Il est alors nécessaire d'introduire manuellement des points de contrainte en accord avec l'interprétation géologique. Ces points permettent de guider l'interpolation de façon à obtenir un résultat cohérent avec toutes les données (exactes ou d'inégalité) et cohérent avec les hypothèses géologiques.

Une fois le modèle construit, il est vérifié par la réalisation de cartes et de coupes. Ces cartes et coupes permettent de s'assurer de la cohérence globale du modèle, à la fois là où on dispose de données, et là où on en dispose de moins, en particulier dans les zones d'extrapolation, loin des données. Des retouches peuvent être nécessaires avant d'obtenir le modèle définitif (ajout de points de contrainte).



### 3. Choix des niveaux à cartographier - Définition de piles lithostratigraphiques

Initialement, le cahier des charges du projet prévoyait la modélisation des 7 niveaux suivants : le grand domaine tertiaire, le grand système crétacé supérieur, le grand système crétacé inférieur, le toit du système jurassique supérieur, le toit du domaine callovo-oxfordien, le toit du grand système jurassique moyen et inférieur et le toit du grand domaine du Trias.

Compte-tenu du contexte géologique régional mais également des données disponibles et surtout des objectifs du projet, des modifications ont été proposées concernant la nature des niveaux cartographiables. En accord avec le comité de pilotage et pour adhérer au mieux à l'objectif de ce projet à vocation hydrogéologique, la cartographie proposée porte sur les 7 niveaux suivants :

- Mur du Plio-Quaternaire (Mur des Marnes de Bresse et cailloutis / sables des bordures pour la partie nord de la région, Mur des Marnes bleues plaisanciennes dans le Bas-Dauphiné). En l'absence de Pliocène s.s., le mur de cet ensemble est défini comme le mur des formations superficielles ou quaternaires (colluvions, alluvions, altérites, formations fluvio-glaciaires, ...),
- Mur du Miocène molassique (Mur des faciès molassiques burdigalo-hélvétiens),
- Mur de l'Oligocène (ensemble calcaire aquitano-chattien pour la Bresse et les Dombes, ensemble argilo-sablo-conglomératique couronnant la série éo-oligocène évaporitique dans le Bas-Dauphiné),
- Mur de l'Eocène,
- Toit du Crétacé inférieur calcaire (cartographie du toit d'un ensemble barrémobédoulien avec l'identification d'une limite géographique d'extension des faciès urgoniens au Sud de l'Isère et au Nord de la Drôme),
- Toit du Jurassique supérieur calcaire (toit de l'ensemble carbonaté regroupant les faciès rauraciens, séquaniens, kimmeridgiens, portlandiens et purbéckiens),
- Toit du Dogger calcaire (calcaires bajo-bathoniens au Nord de la zone d'étude où le toit du Dogger calcaire correspond au toit du niveau-repère de la Dalle Nacrée, Bajocien calcaire uniquement au Sud du fait du développement des faciès Terres Noires).

Signalons que le mur du Tertiaire est, du fait du fonctionnement du bassin sédimentaire, confondu tantôt avec le mur de l'Eocène, tantôt avec le mur de l'Oligocène, mais parfois également avec le mur du Miocène molassique ou celui du Plio-Quaternaire. De ce fait, une cartographie en isohypsies du mur du Cénozoïque (mur du Tertiaire) est apparue judicieuse pour l'objet de cette étude.

Les piles lithostratigraphiques synthétiques, références pour la codification de toutes les données géologiques intégrées aux modèles, ont été adaptées aux objets étudiés (aquifères) et aux niveaux géologiques à cartographier.

Par compilation des données bibliographiques disponibles, deux piles lithostratigraphiques ont été constituées et soumises au comité de pilotage pour validation (réunion du 7 septembre 2007 à Dijon). Dans l'emprise de la zone modélisée, les successions lithologiques mésozoïques (Jurassique moyen et Crétacé notamment) sont en effet très différentes de part et d'autre de l' « éperon lyonnais ». Ce contexte lithostratigraphique variable régionalement a conduit à constituer **deux modèles multicouches distincts**, avec un modèle nord et un modèle sud limités par la faille bordière sud de l'éperon lyonnais (Figure 2).

Le modèle nord couvre la vallée de la Saône, la Bresse et les Dombes (Figure 2). Son extension dépasse largement la limite administrative de la région Rhône-Alpes et ce modèle a servi pour la modélisation entreprise dans le cadre de l'étude du Fossé de Saône. Pour le modèle nord, la colonne lithostratigraphique de synthèse est présentée sur la Figure 3. Elle se décompose en 16 entités lithostratigraphiques distinctes composées de formations à caractéristiques hydrogéologiques cohérentes. Ce domaine nord est caractérisé par un Miocène molassique peu développé, un Crétacé inférieur de faible épaisseur un Dogger calcaire très développé.

Le modèle sud couvre le Bas-Dauphiné, le bassin tertiaire de Valence, le couloir rhodanien et la terminaison septentrionale du bassin de Valréas (Figure 2). La colonne lithostratigraphique de synthèse est présentée sur la Figure 4. La succession lithostratigraphique paléozoïque à cénozoïque du modèle sud est composée de 14 entités géologiques et hydrogéologiques distinctes. Ce domaine sud est caractérisé par un Miocène molassique et un Crétacé inférieur beaucoup plus épais, ainsi que par un Dogger calcaire absent ou faiblement représenté (les Terres Noires se substituant aux faciès calcaires de plate-forme du Bathonien).

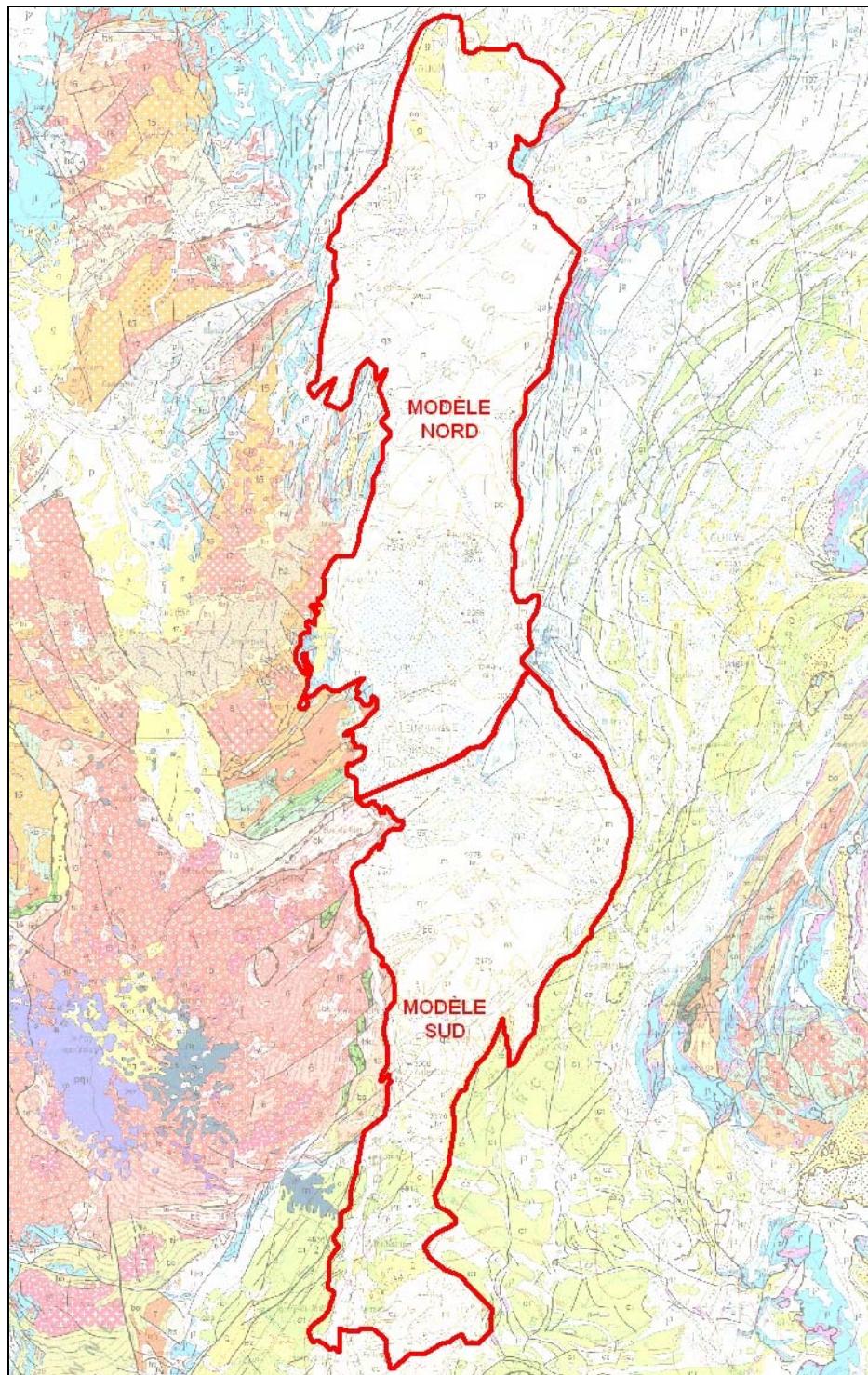


Figure 2 - Limites des deux modèles multicouches réalisés dans le cadre de cette étude sur fond géologique à 1/1 000 000

## Modélisation géologique multicouche Bresse, Dombes, Bas-Dauphiné, Couloir rhodanien

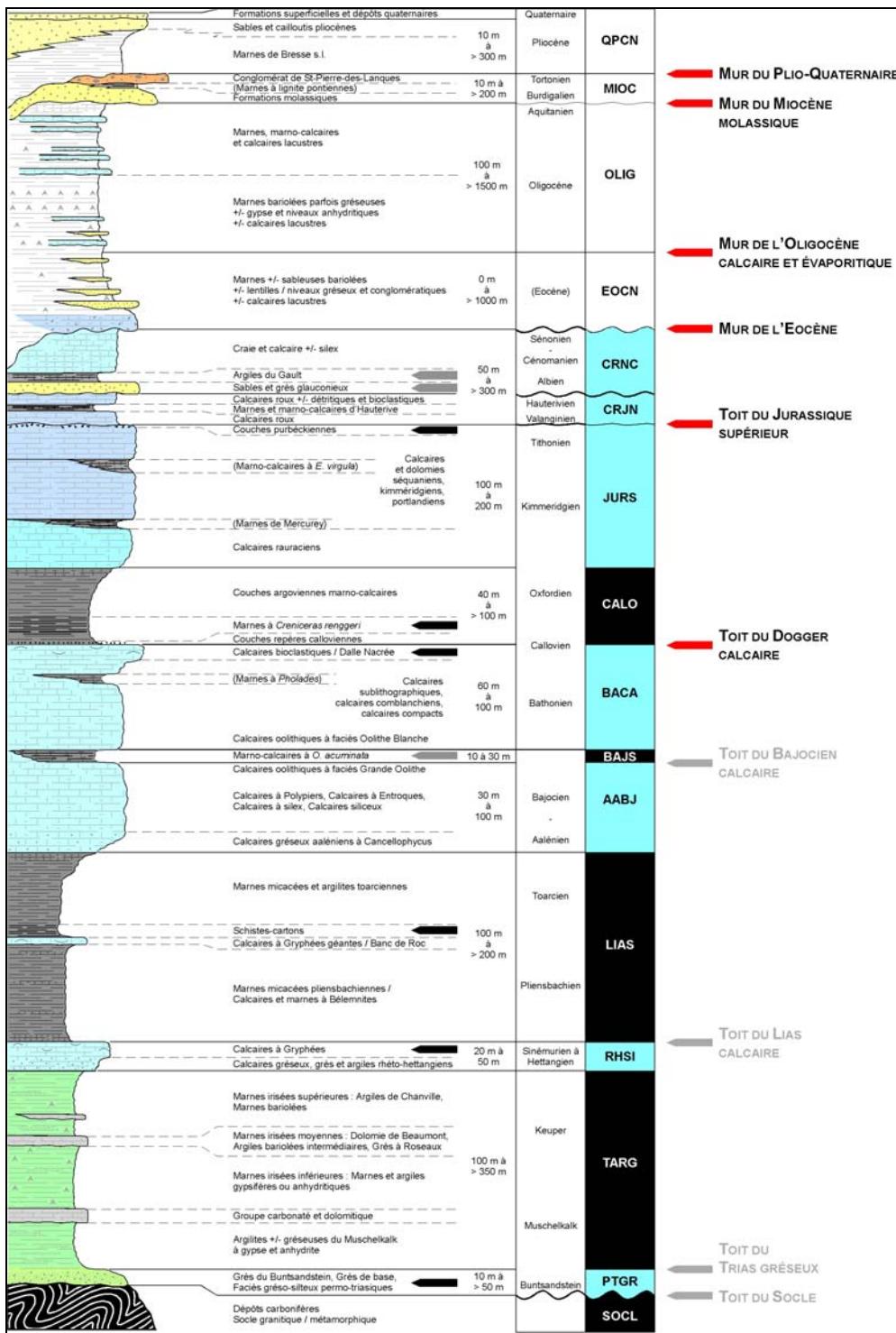


Figure 3 – Colonne lithostratigraphique synthétique des terrains paléozoïques à cénozoïques, utilisée pour la confection du modèle nord couvrant la vallée de Saône, la Bresse et les Dombes. Descriptions lithologiques succinctes, épaisseurs approximatives, stratigraphie, codage simplifié et position des niveaux cartographiés.

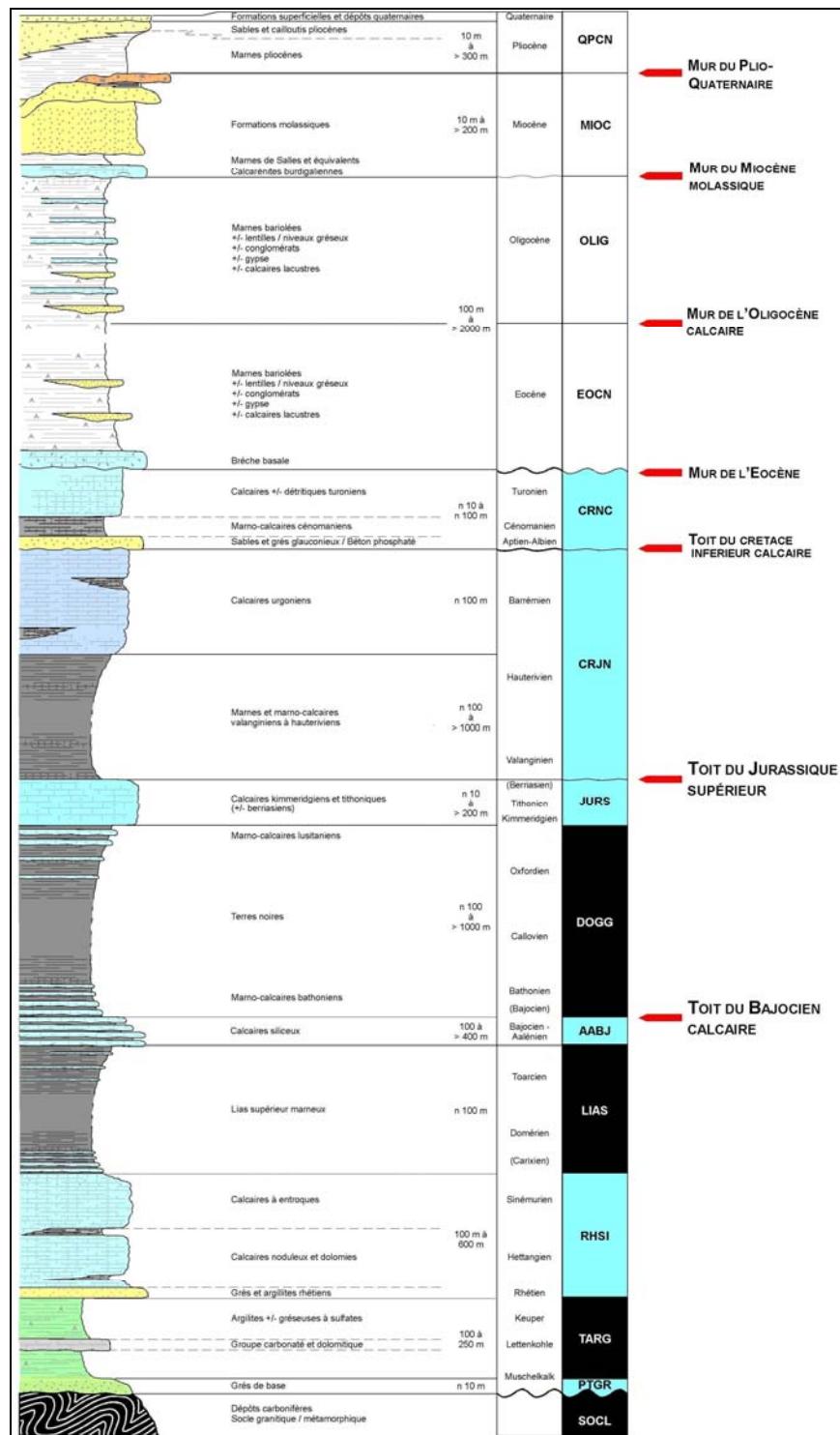


Figure 4 – Colonne lithostratigraphique synthétique des terrains paléozoïques à cénozoïques, utilisée pour la confection du modèle nord couvrant la vallée de Saône, la Bresse et les Dombes. Descriptions lithologiques succinctes, épaisseurs approximatives, stratigraphie, codage simplifié et position des niveaux cartographiés.



## 4. Données intégrées aux modèles

La construction d'un modèle multicouche nécessite plusieurs types de données parmi lesquelles :

- une pile lithostratigraphique ;
- une topographie de surface ;
- l'information géologique de surface fournie par les cartes géologiques à 1/50 000 ;
- l'information géologique de subsurface (sondages géologiques interprétés, données fournies par l'interprétation des profils sismiques) ;
- un réseau de failles.

### 4.1. PILES LITHOSTRATIGRAPHIQUES

Les piles lithostratigraphiques prises en compte dans les modèles sont celles figurées sur la Figure 5. Compte tenu des objectifs du projet, tous les codes relatifs aux terrains anté-bathoniens (Figure 3) ont été regroupés, pour le modèle nord, au sein d'un code unique « SUBS » (*Figure 5A*). De la même manière, pour le modèle sud, tous les codes relatifs aux terrains anté-bajociens (Figure 4) ont été regroupés au sein d'un code unique « SUBS » (*Figure 5B*).

A - Modèle Nord					B - Modèle sud				
Formation	Surf. type	Description	Surf. name	n° FORM	Formation	Surf. type	Description	Surf. name	n° FORM
QPCN	EROD	Quaternaire	T09	F10	QPCN	EROD	Quaternaire	T09	F10
MIOC		Miocene	M09	F09	MIOC		Miocene	M09	F09
OLIG		Oligocene	T07	F08	OLIG		Oligocene	T07	F08
EOCN		Eocene	T06	F07	EOCN		Eocene	T06	F07
CRNC		Cretace sup	T05	F06	CRNC		Cretace sup	T05	F06
CRJN		Cretace inf	T04	F05	CRJN		Cretace inf	T04	F05
JURS		Jurassique sup	T03	F04	JURS		Jurassique sup	T03	F04
CALO		Callovien	T02	F03	D0GG		Dogger Mameux	T02	F03
BACA		Bathonien	T01	F02	AABJ		Dogger Calcaire	T01	F02
SUBS		Substratum		F01	SUBS		Substratum		F01

Figure 5 – Piles lithostratigraphiques synthétiques utilisées pour la confection des modèles. A : Modèle nord. B : Modèle sud.

### 4.2. TOPOGRAPHIE DE SURFACE

La topographie de surface intégrée aux deux modèles correspond à un Modèle Numérique de Terrain à maille de 500 m généré à partir du MNT 50m (IGN<sup>®</sup>) dégradé. Ces données limitent la résolution maximale de la grille calculée à :

- environ 160 pixels × 426 pixels pour le modèle nord ;
- environ 180 pixels × 378 pixels pour le modèle sud.

### **4.3. INFORMATIONS GEOLOGIQUES DE SURFACE**

L'information géologique de surface est extraite des cartes géologiques produites par le brgm.

Pour le modèle nord, les cartes géologiques à 1/50 000 versions numériques harmonisées des départements de l'Ain, de Côte-d'Or, de l'Isère, du Rhône, de Haute-Saône et de Saône-et-Loire ont été utilisées.

Pour le modèle sud, l'harmonisation des cartes géologiques à 1/50 000 couvrant la zone n'étant pas achevée à la date de l'étude, les cartes géologiques vectorisées à 1/250 000 (coupures n°29 – Lyon et 34 – Valence) ont été utilisées.

Une fois codée conformément aux deux piles lithostratigraphiques, les données issues des cartes géologiques ont été prises en compte à travers deux types d'informations complémentaires :

- les limites des formations affleurantes (contact entre deux formations) définies par des polylignes ;
- les contours polygonaux donnant la nature de la formation affleurante à l'intérieur de chaque polygone.

Au total, pour les modèles nord et sud, les cartes géologiques ont ainsi fournies plus 12 500 points de passage pour les différents niveaux cartographiés.

### **4.4. INFORMATIONS GEOLOGIQUES DE SUBSURFACE**

#### **4.4.1. Sondages géologiques**

La base de données de sondages géologiques a été constituée par sélection parmi les ouvrages recensés en Banque du Sous-Sol (BSS gérée et administrée par le BRGM) à la date du 1<sup>er</sup> novembre 2007. A cette date, la Banque du Sous-Sol faisait état de plus de 24 500 données disponibles dans l'emprise de la zone modélisable dont plus de 17 100 en région Rhône-Alpes et plus de 7 750 dans l'emprise de l'étude Fossé de Saône.

La sélection de forages opérée pour l'étude a été effectuée en fonction :

- de la nature des ouvrages : forages et sondages disposant d'une coupe géologique ont été retenus prioritairement ;
- de la répartition des ouvrages dans l'emprise de la zone modélisable, l'objectif étant de disposer de la couverture la plus homogène possible ;

- de la qualité des descriptions lithologiques fournies dans les dossiers BSS, afin de disposer d'une information de qualité ;
- de la profondeur atteinte par les ouvrages (profondeur atteinte supérieure à 100 m), de façon à obtenir des informations sur un maximum de niveaux à cartographier.

Sur l'emprise des modèles nord et sud (Figure 6), 455 forages de la BSS ont été retenus, réinterprétés et encodés suivant les deux piles lithostratigraphiques. Ils comprennent notamment tous les forages pétroliers profonds exécutés dans la zone d'étude qui fournissent un socle d'informations de grand qualité. L'essentiel des forages retenus par ailleurs est constitué par :

- des sondages miniers relativement profonds (200 à 800 mètres) mais de qualité moindre puisque l'objectif de ces ouvrages était la reconnaissance des terrains profonds anciens (Houiller, socle cristallin, ...);
- des forages de recherches d'eau généralement peu profonds (100 à 300 mètres).

Pour le modèle sud, 90 forages inédits en BSS, recensés dans une base de données (R. De La Vaissière, 2006) fournie par le Comité de Pilotage du projet, ont été prises en compte en complément.

A noter que :

- les données recensées en BSS et celles relatives aux ouvrages inédits recueillis auprès du Comité de Pilotage du projet atteignent pour la plupart les niveaux tertiaires et rarement les niveaux mésozoïques (Tableau 1) ;
- les données retenues pour la modélisation sont réparties, à échelle régionale, de façon assez hétérogène avec en particulier, des données rares en Bresse (en particulier à l'Est de Chalon-sur-Saône), dans les Dombes et dans le Bas-Dauphiné

Nombre d'ouvrages atteignant le	Modèle nord	Modèle sud
Mur du Plio-Quaternaire (Mur_QPCN)	207	261
Mur du Miocène (Mur_MIOC)	136	104
Mur de l'Oligocène (Mur_OLIG)	92	41
Mur de l'Eocène (Mur_EOCN)	35	13
Toit du Crétacé inférieur (Toit_CRNC)	/	31
Toit du Jurassique supérieur (Toit_JURS)	90	20
Toit du Bathono-Callovien (Toit_BACA)	59	/
Toit de l'Aaléno-Bajocien (Toit_AABJ)	/	13

Tableau 1 –Statistiques sur le nombre d'ouvrages atteignant les niveaux cartographiés dans les modèles nord et sud.

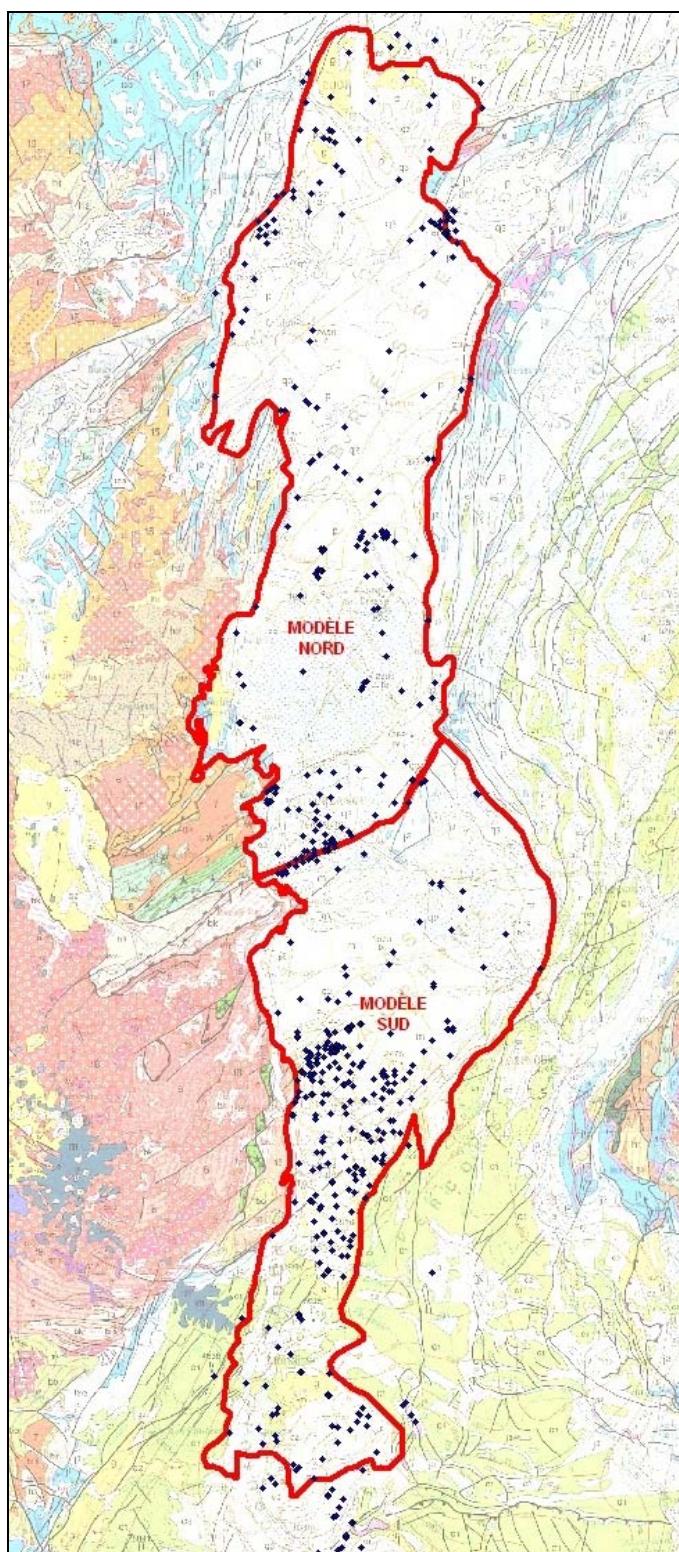


Figure 6 – Localisation des sondages géologiques utilisés pour la confection des modèles nord et sud, sur fond géologique à 1/1 000 000

#### 4.4.2. Données sismiques

Le BRGM assure, dans le cadre de ses activités de service public, la gestion, l'archivage et la mise à disposition des données sismiques brutes publiques. Sur prestation, le BRGM peut en outre procéder au retraitement de ces données brutes publiques afin de constituer des profils sismiques exploitables dans le cadre d'une modélisation géométrique.

Dans le cadre de l'étude « Etude des ressources alternatives en eau profonde du Fossé de Saône en Bourgogne et Franche-Comté » et de la Synthèse hydrogéologique Rhône-Alpes, les données brutes de 5 lignes sismiques ont été retraitées afin de constituer de nouveaux profils. Les données brutes retraitées concernaient les lignes 80 JB2B, 80JB2C, 88REY03, 81SE4A et 82SE01, dont la localisation est représentée sur la Figure 7.

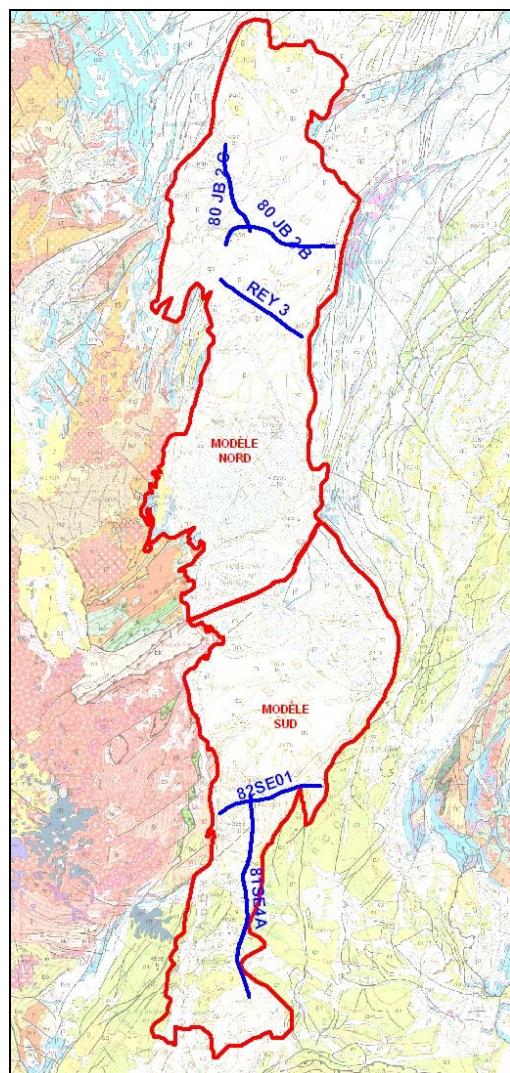


Figure 7 – Localisation des lignes sismiques retraitées, sur fond géologique à 1/1 000 000.

Après calage des marqueurs sismiques sur les forages pétroliers, les profils bruts obtenus (cf. fichiers .pdf des profils bruts) ont été interprétés et codés suivant les deux piles lithostratigraphiques définies précédemment (cf. fichiers .pdf des profils interprétés).

La conversion temps-profondeur des horizons sismiques pointés sur les lignes sismiques a été effectuée par échantillonnage le long des lignes sismiques en fonction des objets et des structures géologiques mis en évidence. Au total, 294 points de conversion temps-profondeur et près de 900 niveaux complémentaires sont venus enrichir les données géologiques de subsurface (Figure 8).

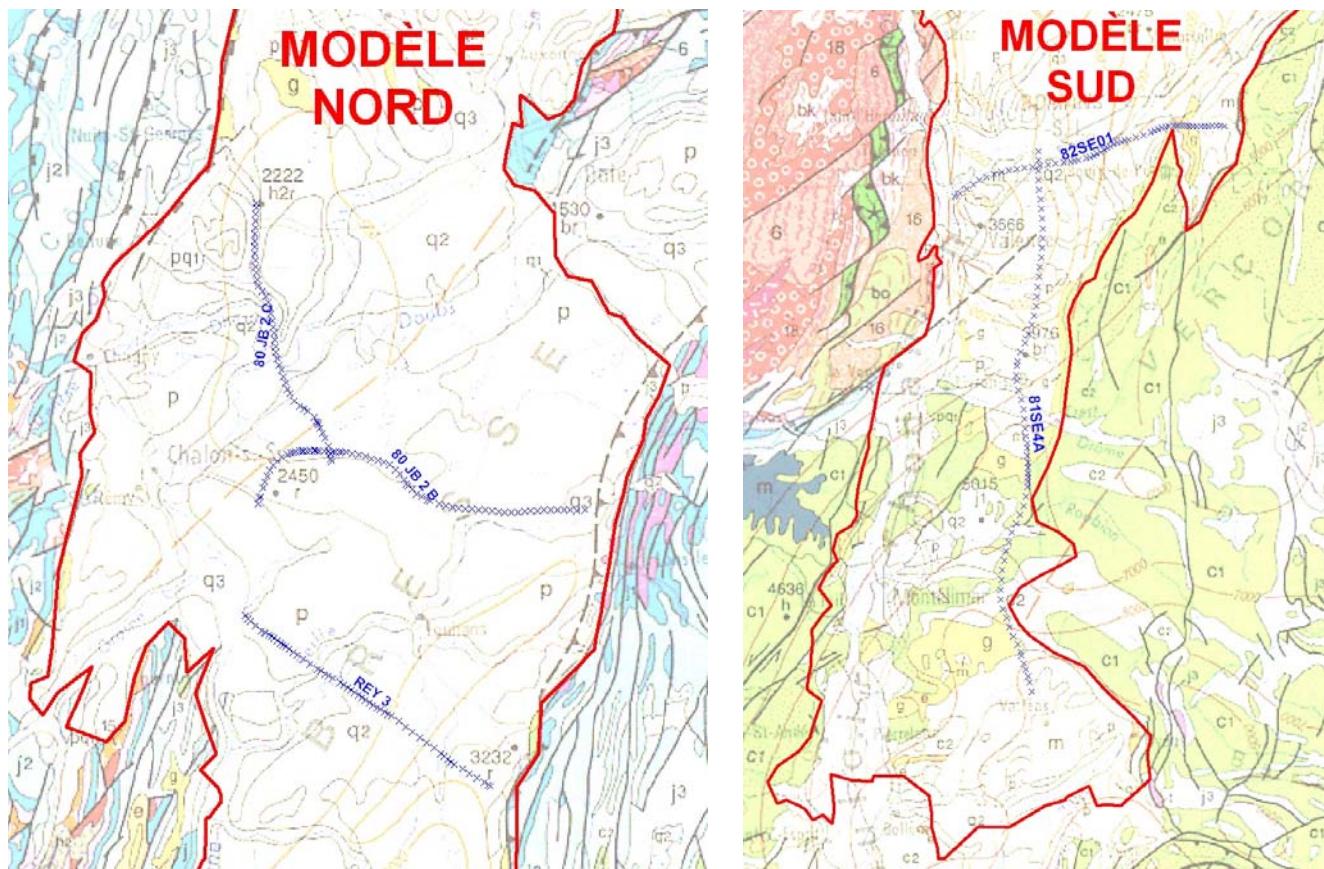


Figure 8 – Localisation des points de conversion temps-profondeur échantillonnés le long des profils sismiques retraités, sur fond géologique à 1/1 000 000.

Les profils sismiques retraités fournissent de précieuses informations sur la profondeur des niveaux potentiellement aquifères et permettent d'imager assez finement la géométrie des terrains.

#### ➤ Profils 80JB2B et 80JB2C

Les deux profils 80JB2B et 80JB2C recoupent plusieurs structures majeures avec, depuis le Nord-Ouest vers le sud-est : le Fossé de Chalon, le seuil de Sennecey-la-

Serre et la prolongation septentrionale du Fossé de Louhans. Le calage des horizons sismiques est facilité :

- par la présence de plusieurs forages pétroliers profonds sur le tracé ou à proximité immédiate du profil (Argilly 1 pour le profil 80JB2C, Montcoy 1 et Montcoy 2 pour le profil 80JB2B),
- par un contexte structural relativement simple.

Au niveau du Fossé de Châlon, les conversions temps-profondeur sur la ligne 80JB2C suggèrent :

- un mur du Miocène (peu épais) à une profondeur comprise entre 180 m au Nord en bordure du seuil de Barges et 375 m maximum au cœur du fossé,
- un mur du Cénozoïque (Mur du Tertiaire) compris entre 500 m en bordure du seuil de Barges et près de 900 m au cœur du fossé,
- un toit du Jurassique supérieur relativement profond, compris entre près de 900 m en bordure du seuil de Barges et plus de 1500 m au cœur du fossé.

On signalera par ailleurs que le remplissage tertiaire du fossé de Chalon semble exempt de dépôts éocènes préservés (signature sismique de l'Eocène non reconnue).

Le seuil de Sennecey-la-Serre est imaginé par l'intermédiaire de la partie sud de la ligne 80JB2C et de la partie ouest de la ligne 80JB2B. Cette structure, telle qu'interprétée sur la ligne 80JB2B, apparaît relativement complexe et correspond à un horst armé principalement de Jurassique supérieur calcaire (toit situé entre 350 et 600 m de profondeur). Sur sa bordure est, le horst est armé principalement par le Bajo-Bathonien calcaire (toit situé entre 350 et 500 m de profondeur). Il y est affecté de nombreuses failles normales et montre localement de nombreux petits grabens à remplissage de Jurassique supérieur.

Dans le Fossé de Louhans, les terrains apparaissent monoclinaux avec un pendage général vers l'Est et un fort épaississement des terrains cénozoïques. Le mur du Cénozoïque (Mur du Tertiaire) est dans cette structure, compris entre 500 m à l'Ouest et 1 100 m à l'Est du profil 80JB2B. La qualité du profil retraité dans les premières centaines de millisecondes ne permet cependant pas d'identifier clairement la cause de cet épaississement mais il semble que, compte tenu des épaisseurs maximales atteintes par le Plio-Quaternaire et du Miocène dans la région et de l'absence d'Eocène identifié sur ce profil, cet approfondissement du mur du Tertiaire soit principalement le fait d'un épaississement de l'Oligocène. Dans cette hypothèse, le Mur du Miocène ne devrait pas suivre cette tendance à l'approfondissement vers l'Est.

### ➤ ► Profil 88REY03

Le profil 88REY03 fournit une coupe Ouest-Est des terrains depuis le seuil de Sennecey-la-Serre jusqu'au seuil de Cormoz, en passant par le bassin de Louhans. Le calage des horizons sismiques est facilité par la présence de plusieurs forages pétroliers profonds sur le tracé du profil (Ormes 1, Simandre 1, Simandre 101 et Menetreuil CD1) et par un contexte structural relativement simple.

La bordure orientale du seuil de Sennecey-la-Serre correspond à un horst armé par le Jurassique supérieur dont le toit est ici compris entre 130 m (profondeur à laquelle le Jurassique supérieur est rencontré directement sous le Miocène molassique dans le forage Simandre 101) et 350 m de profondeur. La bordure orientale du seuil de Sennecey-la-Serre apparaît assez fortement structurée par des failles normales dont les rejets semblent faibles à l'Est. En revanche, à l'Ouest, ces failles normales ont un rejet beaucoup plus important qui permet la préservation, au sein d'une synforme, de l'ensemble du Jurassique supérieur et d'une partie du Crétacé sous les dépôts tertiaires (qui atteignent près de 700m d'épaisseur dans le forage Simandre 1). L'extrémité ouest de la ligne 88REY03 met en évidence la bordure d'un horst armé de Jurassique supérieur (toit à une profondeur de l'ordre de 450 à 500 mètres).

A l'Est du seuil de Sennecey-la-Serre, le profil sismique 88REY03 montre la géométrie des terrains au sein du bassin de Louhans, avec un approfondissement important du toit du Jurassique supérieur (passage de profondeurs de 500 à 600 m à l'Ouest du forage Menetreuil 1 en bordure du seuil de Sennecey, à plus de 1 000 m au cœur du bassin). Au sein du bassin de Louhans, les terrains tertiaires atteignent jusqu'à 1 000 m d'épaisseur : l'essentiel des dépôts est représenté par l'Oligocène et localement, comme au cœur du bassin, par l'Eocène (épaisseur maximale calculée d'environ 250 mètres, toit de l'Eocène compris entre 600 et 750 m de profondeur).

Enfin, le profil retraité permet, dans sa partie orientale, d'imager la bordure ouest du seuil de Cormoz. Cette structure d'une amplitude relativement faible (puisque elle fait remonter le toit du Jurassique supérieur de 950 - 1000 m dans le bassin de Louhans à 750 - 800 m de profondeur) semble être induite par l'inversion de grandes failles normales (jeu normal infra-liasique) en failles inverses (jeu inverse post-crétacé). Au niveau du seuil de Cormoz, la série tertiaire montre une épaisseur réduite par rapport au cœur du bassin de Louhans, avec une profondeur calculée du mur du Cénozoïque comprise entre 650 et 750 mètres.

#### ➤ ► Profil 82SE01

De part et d'autre de Romans-sur-Isère, le profil 82SE01, parallèle à la vallée de l'Isère, fournit une coupe Ouest-Est au travers du bassin tertiaire de Valence, depuis la vallée du Rhône jusqu'au front du Vercors. Il image ainsi la géométrie des dépôts cénozoïques formant le remplissage de la bordure orientale du bassin de Valence et la forte structuration des terrains au front du Vercors, avec exclusivement des failles inverses présentant pour certaines de forts rejets.

Bien que disposant de forages pétroliers profonds (St-Lattier 2 et St-Lattier F2) pour le calage des horizons sismiques, l'interprétation de ce profil est rendue délicate par la nature des structures tectoniques observées et l'épaisseur importante des dépôts.

Sur la bordure est du bassin de Valence, les dépôts tertiaires, plus minces à l'approche du front du Vercors, passent de plus de 2 500 m d'épaisseur à l'Ouest à plus de 800 m à l'Est.

Le substratum de la bordure est du bassin de Valence est composé exclusivement de terrains du Crétacé inférieur, puissants de 600 à plus de 1 000 mètres. Ces terrains du Crétacé inférieur affleurent à la faveur du chevauchement du Vercors et isolent en arrière un fragment de bassin tertiaire que l'extrémité est du profil retraité image. Ce fragment de bassin tertiaire présente une géométrie dissymétrique avec un remplissage s'épaissant largement vers l'Est (de 100 m à l'Ouest à 900 m à l'Est).

Sur le profil 82SE01, le Jurassique supérieur est présent à des profondeurs importantes puisqu'au plus proche de la surface (c'est-à-dire au droit des terrains crétacés allochtones affleurant au front du Vercors), son toit se situe à 950 - 1 000 mètres minimum.

#### ➤ ► Profil 81SE4A

Le profil retraité 81SE4A offre une image de très bonne qualité de la géométrie des terrains entre Romans-sur-Isère et Valréas.

Toutefois, les interprétations proposées dans un cadre structural assez complexe sont sujettes à caution, notamment quant à la nature exacte des terrains infra-tertiaires. En effet, le calage des horizons sismiques est rendu délicat par :

- 1) la rareté des forages profonds sur le tracé même ou à proximité immédiate du profil (seulement 2 forages pétroliers profonds : Montoison 1, Marsanne 1),
- 2) la nature des structures tectoniques observées (failles inverses, chevauchement, écaillement, ...),
- 3) l'épaisseur et les variations d'épaisseur importantes des dépôts mésozoïques.

Le profil 81SE4A fournit une grande coupe Nord-Sud au travers de 3 grands domaines structuraux :

- la marge méridionale du bassin de Crest – Valence,
- la bordure septentrionale du bassin de Valréas,
- les massifs crétacés situés à l'Est de Montélimar, reliefs qui séparent les bassins tertiaires cités précédemment.

Sur la marge méridionale du bassin de Crest – Valence, les dépôts tertiaires décroissent en épaisseur du Sud vers le Nord (de plus de 1 800 m au Nord à la centaine de mètres vers le Sud). Le substratum est exclusivement crétacé.

La bordure septentrionale du bassin de Valréas montre des dépôts tertiaires épais de seulement quelques dizaines de mètre au Nord à plus de 450 m au Sud du profil 81SE4A. Là encore, le substratum est exclusivement crétacé.

Au droit des massifs crétacés localisés à l'Est de Montélimar, le toit du Jurassique supérieur est profond, situé systématiquement à plus de 1 900 m de profondeur. Le toit du Barrémo-Bédoulien, qui localement peut se présenter sous forme de faciès urgoniens, peut localement se situer entre 500 et 700 m de profondeur.

Signalons que le profil 81SE4A montre deux grands compartiments structuraux séparés par un accident régional majeur (la faille des Cévennes) sub-affleurante entre les vallées de la Drôme et des Ouches (point d'enregistrement CDP1260 ; cf. 81SE4A\_Interprete.pdf). La partie sud du profil, et en particulier la bordure méridionale des massifs crétacés, sont affectées de grandes failles inverses à regard sud. En revanche, la partie nord du profil montre, principalement sous le remplissage tertiaire de la marge méridionale du bassin de Crest – Valence, de grandes failles inverses à regard nord.

#### 4.5. SCHEMA STRUCTURAL

La modélisation géologique a également intégré un schéma structural simplifié de la zone d'étude (Figure 9 et Figure 10). Le jeu de failles retenu a été établi sur la base d'une synthèse bibliographique axée sur :

- les documents cartographiques existants (cartes géologiques à 1/50 000, cartes géologiques à 1/250 000, cartes géologiques départementales harmonisées, cartes de synthèse figurées dans la synthèse géologique du Sud-Est de la France (BRGM, 1984), ...);
- quelques publications scientifiques concernant le contexte structural de la zone d'étude ;
- les cartes d'isochrones et d'isobathes produites à l'issue de plusieurs campagnes sismiques exécutées dans les années 1950 : campagnes 611(1) – Bresse 1 (1956), 611(3) – Bresse 2 (1958), 752 – Bresse Nord (1958), 795 – Bresse 3 (1958-1959), 795 – Bresse 3 Vérif. (1958-1959), 577 – Franche-Comté - Gray (1956-1957). 3 de ces campagnes sismiques ont été réalisées dans l'emprise du modèle nord.

Le schéma structural retenu a été validé et contraint sur le tracé des profils sismiques retraités.

Le réseau de failles retenu correspond approximativement à un schéma structural anté-miocène, largement simplifié, excluant un grand nombre d'éléments structuraux figurés dans la bibliographie. Dans le contexte structural complexe de la zone d'étude, une sélection a été opérée sur la base des données disponibles dans les documents cartographiques et dans les publications scientifiques, avec pour principaux critères de sélection :

- les rejets d'accidents mentionnés les publications et les notices de cartes géologiques ;
- des extensions spatiales des accidents compatibles avec une échelle de travail régionale ;
- un minimum de données géologiques disponibles de part et d'autre des accidents.

Des essais de modélisation ont localement été menés avec un schéma structural plus complet, mais ceux-ci ne sont pas avérés concluants. La prise en compte de certaines failles reste problématique et peut conduire à des erreurs si les failles ne sont pas associées à des forages situés de part et d'autre de leur tracé. En effet, les outils

informatiques utilisés considèrent les failles comme des limites d'interpolation et les compartiments situés de part et d'autre des failles comme totalement indépendants.

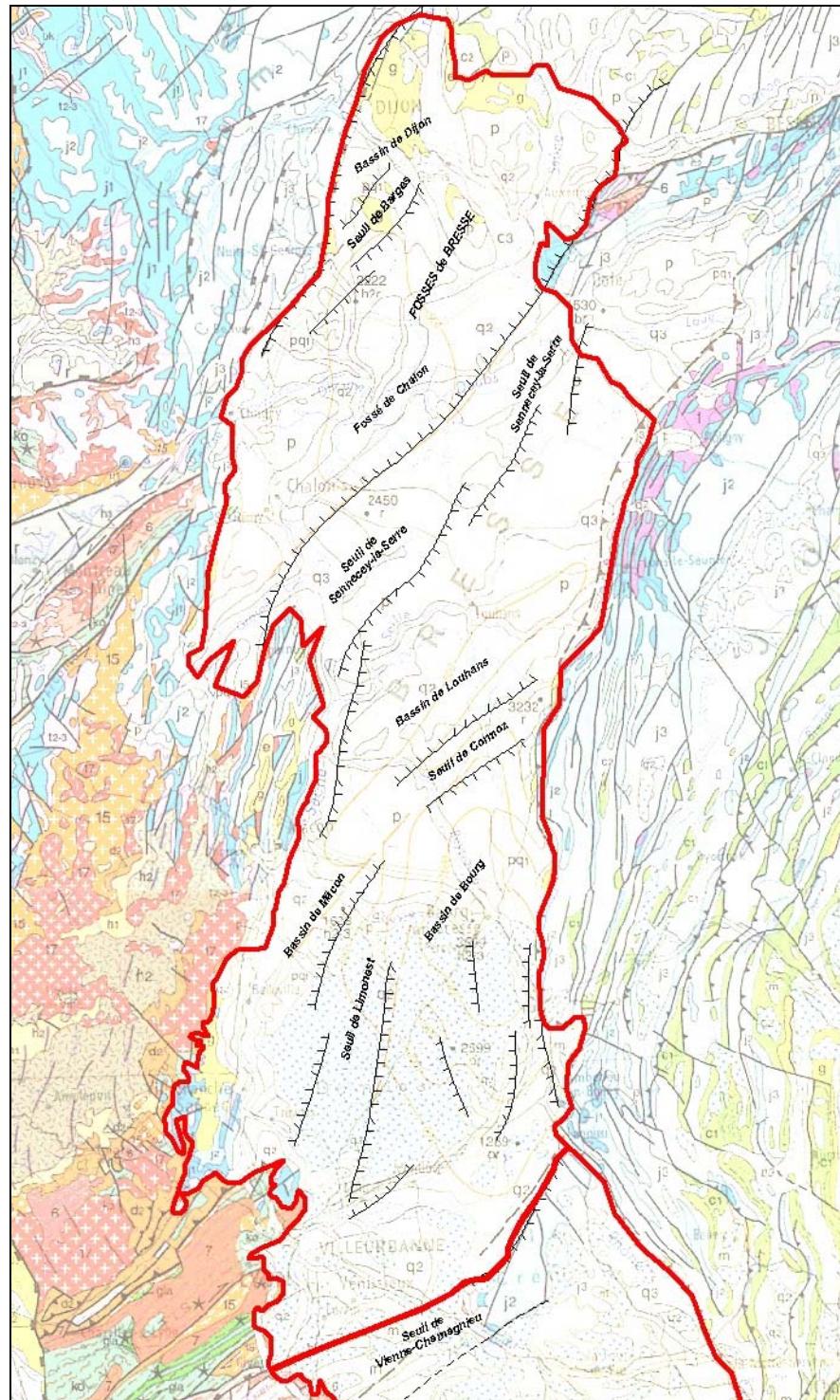


Figure 9 – Schéma structural pris en compte pour la construction du modèle nord

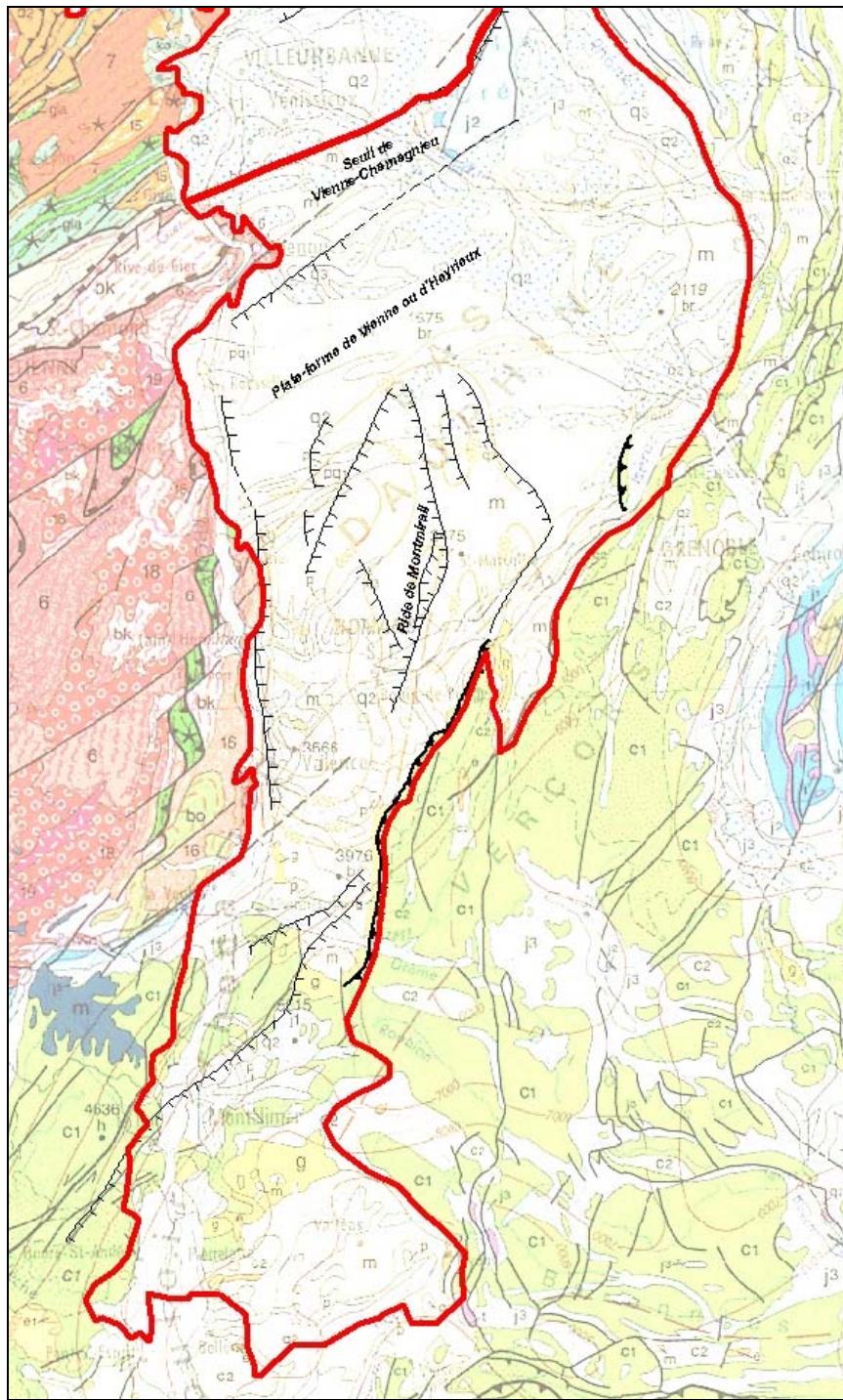


Figure 10 – Schéma structural pris en compte pour la construction du modèle sud

## 5. Paramètres de calcul des modèles

Les grilles correspondant aux différentes interfaces calculées ont été interpolées sur la base des paramètres suivants :

- Méthode d'interpolation : krigeage avec variogramme linéaire sans dérive ;
- Maille : 500 mètres (résolutions approximatives : 160 pixels × 426 pixels pour le modèle nord et 180 pixels × 378 pixels pour le sud) ;
- Voisinage rectangulaire : 40 000 mètres. Pour calculer la valeur d'un pixel dans les grilles, sont prises en compte toutes les valeurs associées aux données voisines situées dans un carré de moins de 40 km de côté ;
- Seuil de fusion : 100 mètres. Si deux données sont distantes de moins de 100 mètres, la valeur retenue après fusion correspond à la moyenne des valeurs des deux données ;
- Seuil de précision pour le contrôle de cohérence : 1 mètre. Au-delà d'une différence de 1 mètre lors de la comparaison de deux valeurs proches, les données ont été signalées incohérentes par le modèle et ont donc fait l'objet d'une vérification ;
- Ecart maximum des inégalités : 1 à 5 mètres.

Prise en compte d'un jeu de failles différents suivants les formations. Le schéma structural retenu (anté-miocène) est constitué de failles qui ont été considérées comme n'affectant ni le Plio-Quaternaire (code QPCN), ni le Miocène molassique (code MIOC).



## 6. Clés de lecture des cartes en isohypses / isopaques fournies

Les résultats des modélisations multicouches réalisées dans le cadre des deux projets sont des cartes interprétatives en isohypses (cartes d'isovaleurs en cotes NGF) des murs ou toits des principaux niveaux d'intérêt hydrogéologique (Annexe 1).

Pour le modèle nord, sont fournies :

- une carte des isohypses calculées du mur du Plio-Quaternaire correspondant au mur des Marnes de Bresse et des cailloutis / sables des bordures ou, en l'absence de Pliocène s.s., au mur des formations superficielles ou quaternaires (colluvions, alluvions, altérites, formations fluvio-glaciaires, ...) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_M-QPCN\_Nord.tab / .shp*
- une carte des isohypses calculées du mur du Miocène molassique (Mur des faciès molassiques burdigalo-hélvétiens) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_M-MIOC\_Nord.tab / .shp*
- une carte des isohypses calculées du mur de l'Oligocène (mur des calcaires aquitano-chattiens) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_M-OLIG\_Nord.tab / .shp*
- une carte des isohypses calculées du mur des faciès éocènes ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_M-EOCN\_Nord.tab / .shp*
- une carte des isohypses calculées du toit du Jurassique supérieur calcaire (toit de l'ensemble carbonaté regroupant les faciès rauraciens, séquaniens, kimmeridgiens, portlandiens et purbéckiens) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_T-JURS\_Nord.tab / .shp*
- une carte des isohypses calculées du toit du Dogger calcaire (toit des calcaires bajo-bathoniens qui correspond la plupart du temps au toit du niveau-repère de la Dalle Nacrée).
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_T-BACA\_Nord.tab / .shp*

En complément et pour faciliter la lecture, le BRGM fournit également pour le modèle nord :

- une carte d'isopaques calculées du Plio-Quaternaire ;
  - *Fichiers numériques associés : Isopaques\_QPCN\_Nord.tab / .shp*

- une carte d'isopaques calculées du Miocène molassique ;
  - *Fichiers numériques associés : Isopaques\_MIOC\_Nord.tab / .shp*
- une carte des isohypsbes calculées du mur des dépôts cénozoïques (ou tertiaires).
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_CNZQ\_Nord.tab / .shp*

Pour le modèle sud, sont fournies :

- une carte des isohypsbes calculées du mur du Plio-Quaternaire correspondant au mur des Marnes bleues plaisirciennes et des cailloutis / sables des bordures ou, en l'absence de Pliocène s.s., au mur des formations superficielles ou quaternaires (colluvions, alluvions, altérites, formations fluvio-glaciaires, ...) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_M-QPCN\_Sud.tab / .shp*
- une carte des isohypsbes calculées du mur du Miocène molassique (Mur des faciès molassiques burdigalo-helvétiens) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_M-MIOC\_Sud.tab / .shp*
- une carte des isohypsbes calculées du mur de l'Oligocène (mur de l'ensemble argilo-sablo-conglomératique couronnant la série éo-oligocène évaporitique) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_M-OLIG\_Sud.tab / .shp*
- une carte des isohypsbes calculées du mur des faciès éocènes ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_M-EOCN\_Sud.tab / .shp*
- une carte des isohypsbes calculées du toit du Crétacé inférieur calcaire (toit des faciès barrémo-bédouliens avec limite d'extension des faciès calcaires urgoniens) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_T-CRJN\_Sud.tab / .shp*
- une carte des isohypsbes calculées du toit du Jurassique supérieur calcaire (toit de l'ensemble carbonaté regroupant les faciès rauraciens, séquaniens, kimmeridgiens, portlandiens et purbeckiens) ;
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_T-JURS\_Sud.tab / .shp*
- une carte des isohypsbes calculées du toit du Dogger calcaire (toit des calcaires bajociens intercalés en base des Terres Noires bathono-callovoo-oxfordiennes).
  - *Fichiers numériques associés : Isohypses\_T-AABJ\_Sud.tab / .shp*

En complément et pour faciliter la lecture, le BRGM fournit également pour le modèle sud :

- une carte d'isopaques calculées du Plio-Quaternaire ;
  - *Fichiers numériques associés : Isopaques\_QPCN\_Sud.tab / .shp*
- une carte d'isopaques calculées du Miocène molassique ;
  - *Fichiers numériques associés : Isopaques\_MIOC\_Sud.tab / .shp*

- une carte des isohypsés calculées du mur des dépôts cénozoïques (ou tertiaires).

► *Fichiers numériques associés : Isohypses\_CNZQ\_Sud.tab / .shp*

Les cartes d'isovaleurs calculées se réfèrent à une charte graphique caractérisée par :

- une représentation des isovaleurs en traits pleins continus pour les zones comprises dans un rayon de moins de 10 km de toute donnée (forage, affleurement, pointé sismique) renseignant le niveau cartographié ;

► *Fichiers numériques associés : Isohypses\_Niveau\_Nord/Sud\_Solid.tab / .shp*

- une représentation des isovaleurs en tirets pour les zones comprises dans un rayon de plus de 10 km de toute donnée (forage, affleurement, pointé sismique) renseignant le niveau cartographié ;

► *Fichiers numériques associés : Isohypses\_Niveau\_Nord/Sud\_Dash.tab / .shp*

- l'absence de toute courbe d'isovaleurs dans une zone située à moins de 1 200 m des failles (parmi les failles sélectionnées dans le schéma structural régional).

Les résultats sont cartographiés sous forme de tracés de courbes d'isovaleurs (isohypsés du mur / de toit en m NGF, isopaques) à intervalles variables suivant les niveaux concernés :

- intervalles de 50 m pour les isohypsés du mur du Plio-Quaternaire et du mur du Miocène,
- intervalles de 100 m pour les isohypsés du mur de l'Oligocène, du mur de l'Eocène, du toit du Crétacé inférieur calcaire, du toit du Jurassique supérieur calcaire et du toit du Dogger calcaire.

La lecture des cartes d'isovaleurs calculées ne peut se faire en l'absence des données suivantes :

- la limite de la zone modélisable ;
- la localisation des sondages ayant atteint le niveau cartographié ;
- le tracé des failles affectant le niveau cartographié (sont concernés les cartes du mur de l'Oligocène, du mur de l'Eocène, du toit du Crétacé inférieur calcaire, du toit du Jurassique supérieur calcaire et du toit du Dogger calcaire).



## 7. Incertitudes et limites d'usage des données fournies

Les modélisations géologiques ont été effectuées à l'échelle régionale et que les isohypses / isopaques calculées ont été produites pour être représentées à l'échelle du 1 / 250 000. **L'échelle maximale d'utilisation de ces cartes est par conséquent celle du 1 / 250 000.**

Les principales incertitudes liées à la modélisation sont les suivantes :

- l'incertitude liée au Modèle Numérique de Terrain de l'IGN (au minimum +/- 5m) ;
- l'incertitude liée à l'interprétation des sondages géologiques (épaisseur des objets étudiés parfois faible, descriptions lithologiques ambiguës ou difficiles à interpréter, passages latéraux de faciès rendant délicate la détermination d'une limite entre deux unités géologiques, sondages rencontrant des failles, ...) ;
- l'incertitude liée à la faible densité des logs géologiques. Aussi, il est impératif de lire la carte en tenant compte de la répartition des sondages utilisés : en l'absence de sondages proches, les calculs sont à affecter d'une incertitude plus importante ;
- l'incertitude liée à la maille de calcul de 500 m : l'approximation peut être importante dans les zones de vallées et dans les zones à forte pente.

**Compte tenu de toutes ces incertitudes, les cartes proposées sont des cartes prédictives et en aucun cas des cartes définitives. La modélisation devra être mise à jour avec l'acquisition de nouvelles connaissances.**

Le BRGM n'apporte aucune garantie quant à l'exactitude et au caractère exhaustif des informations délivrées. Les cartes ne sont que le reflet de l'état des connaissances disponibles au moment de leur élaboration, de telle sorte que la responsabilité du BRGM ne saurait être engagée en cas où des investigations nouvelles amèneraient à revoir les contours ou les caractéristiques de certaines formations.

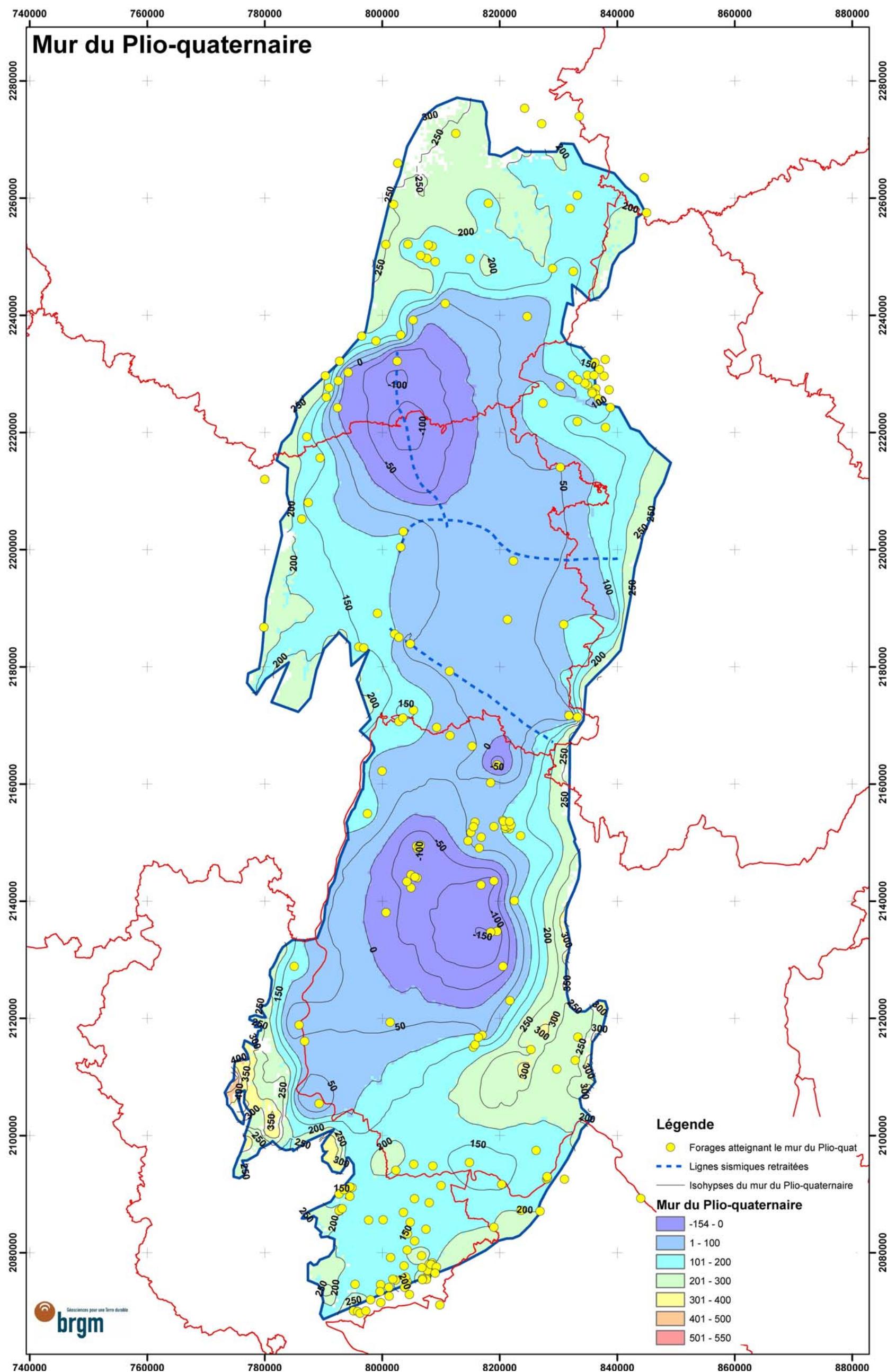


## **Annexe 1**

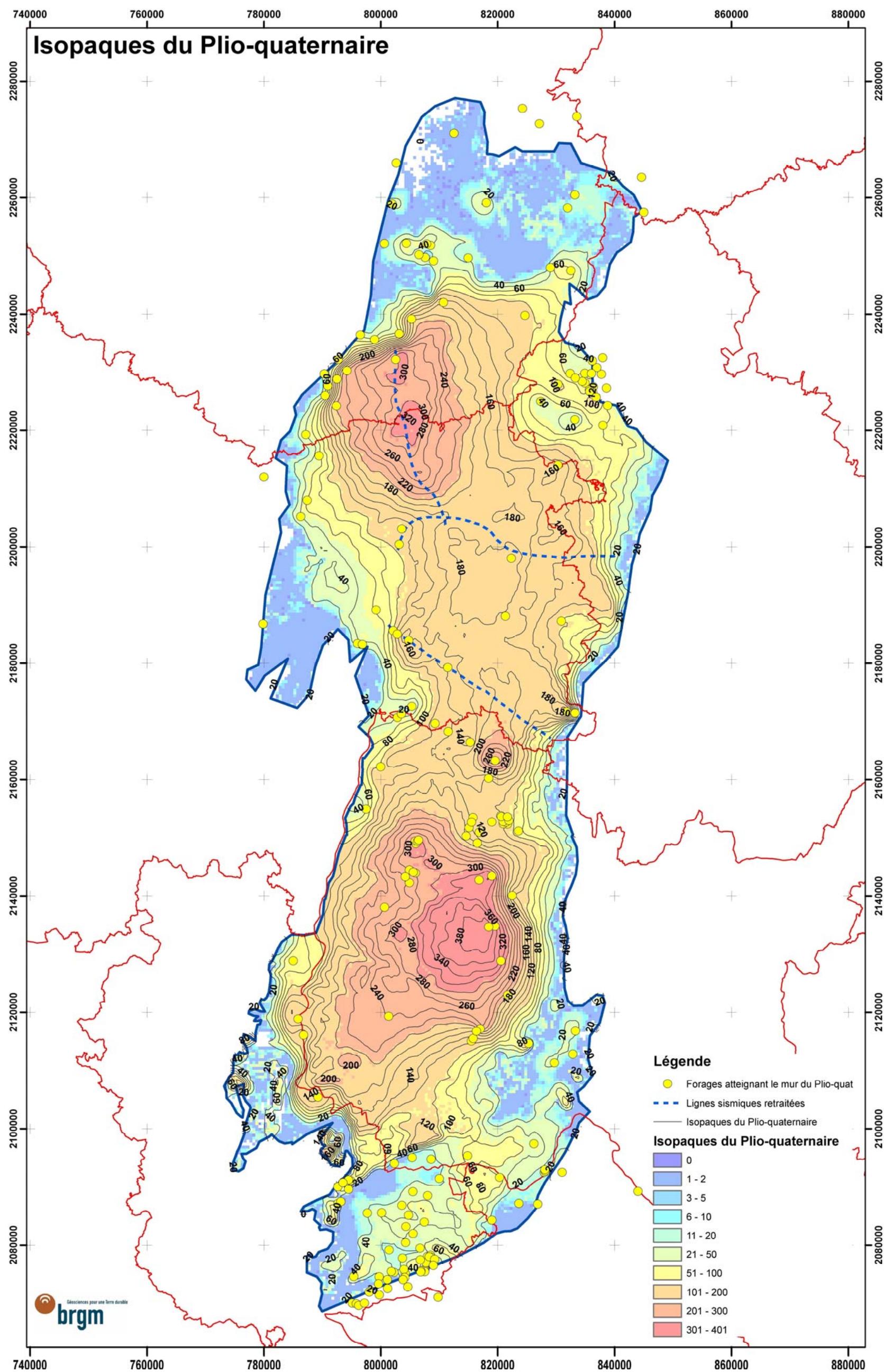
### **Annexe cartographique**



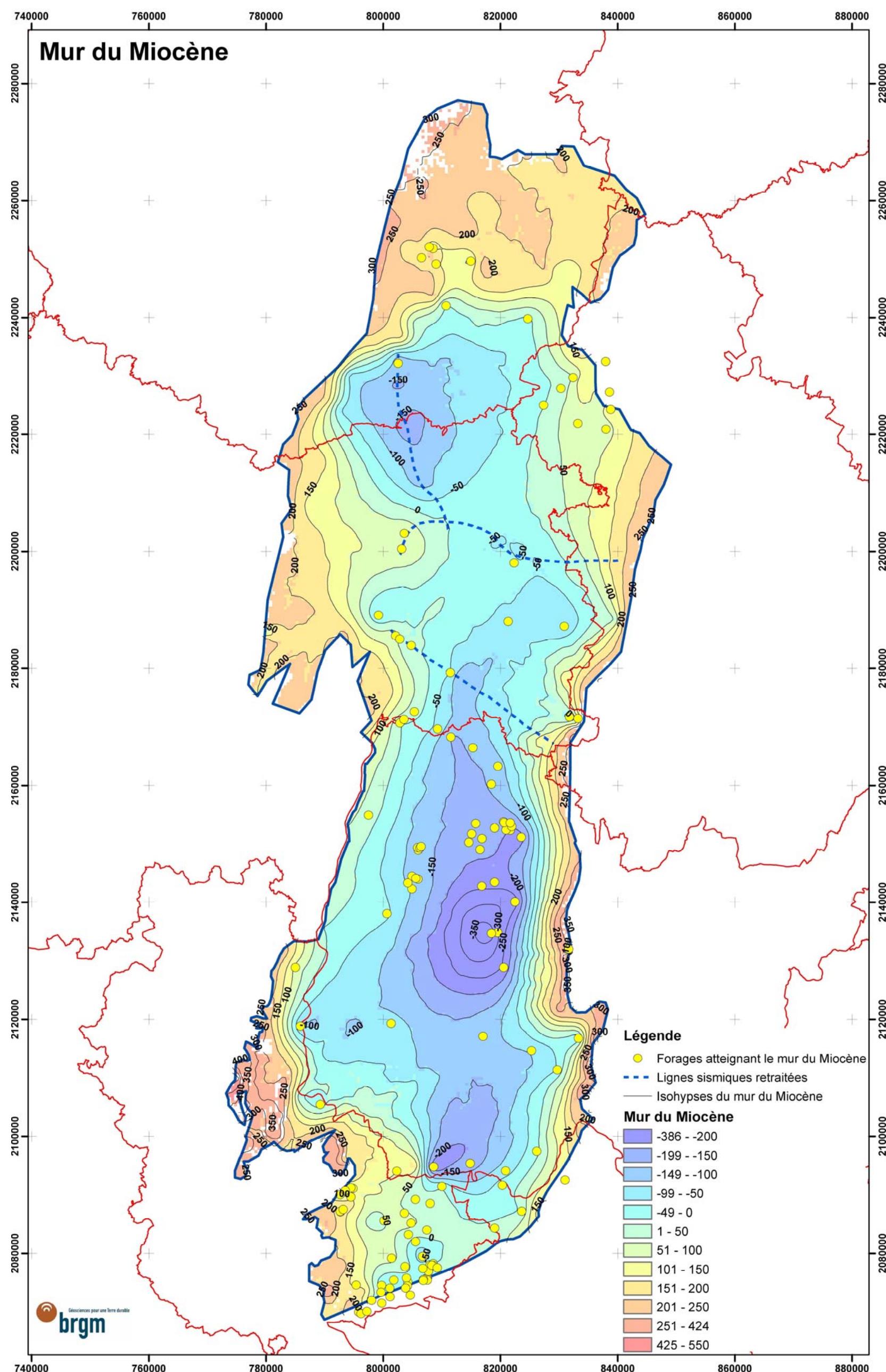
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DU PLIO-QUATERNAIRE**



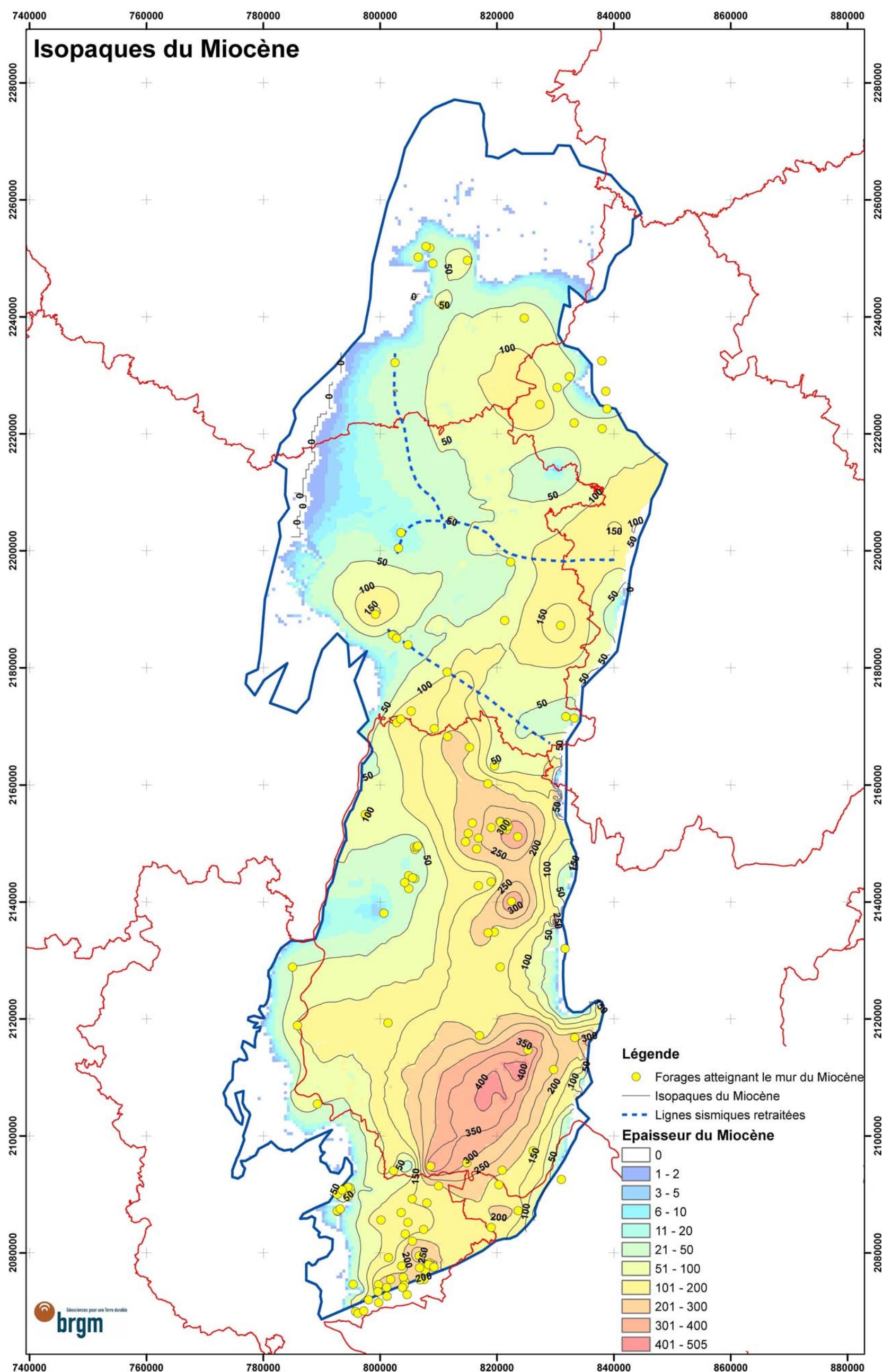
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOPAQUES DU PLIO-QUATERNAIRE**



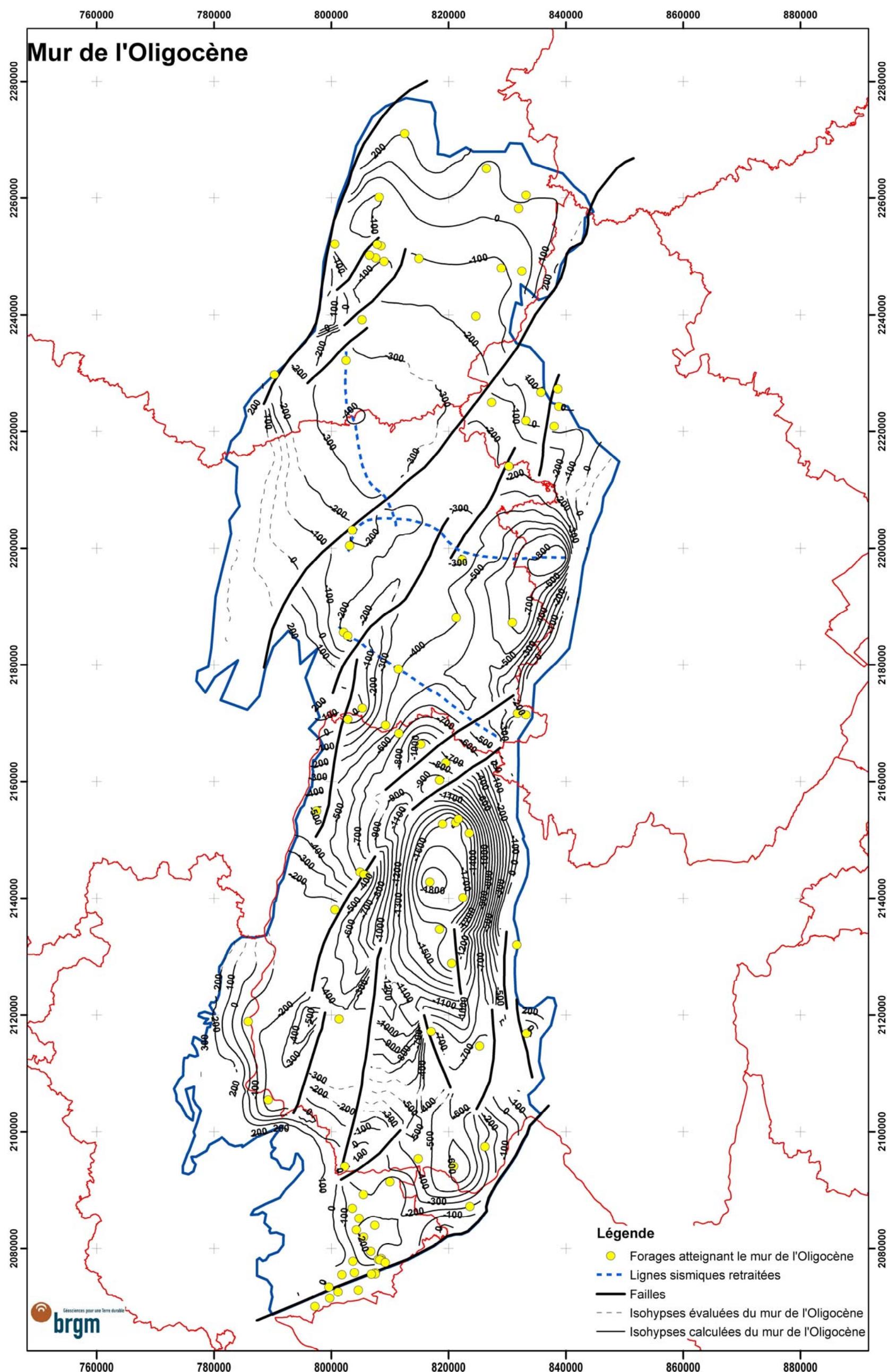
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DU MIOCENE MOLASSIQUE**



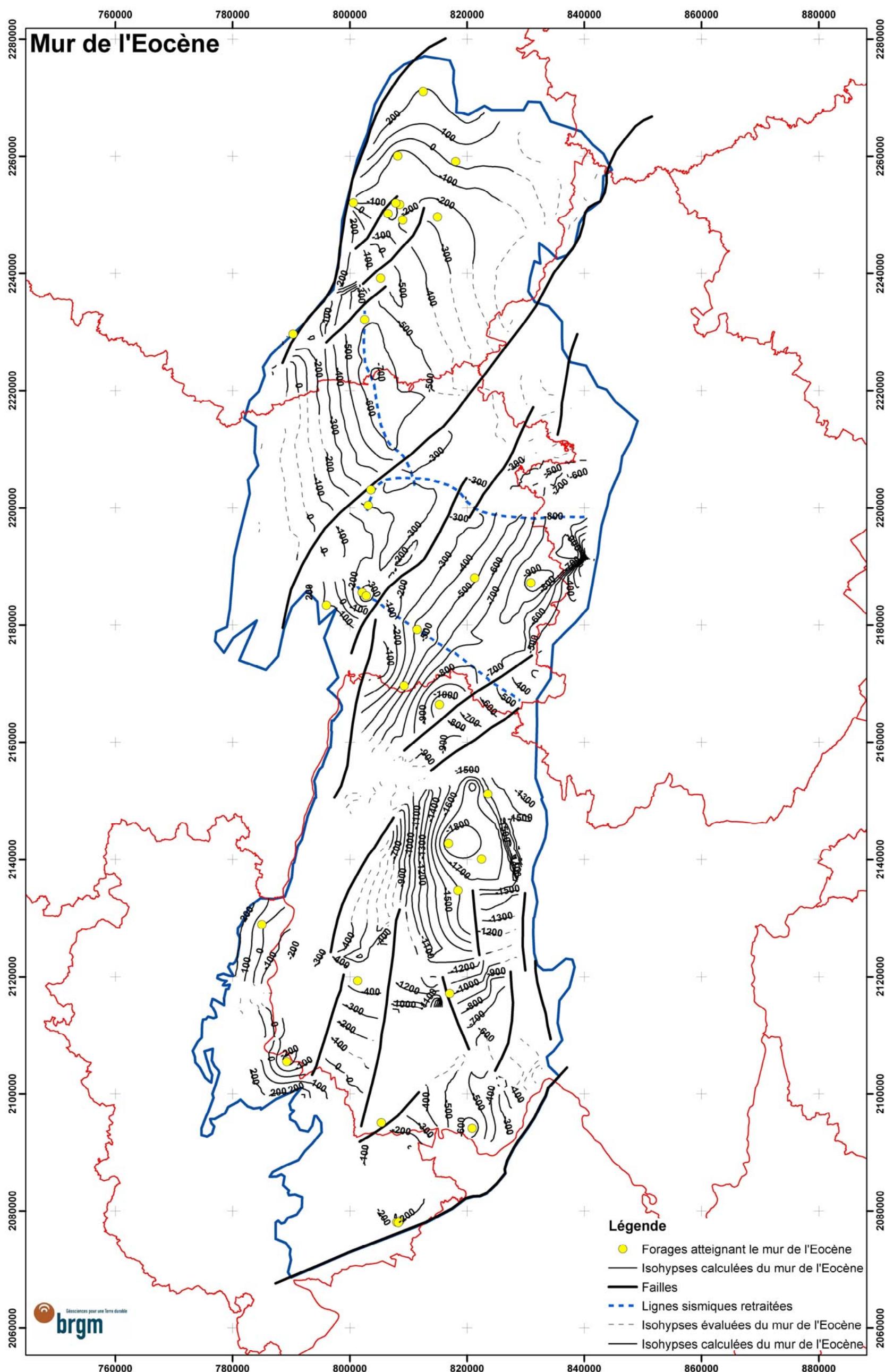
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOPAQUES DU MIOCENE MOLASSIQUE**



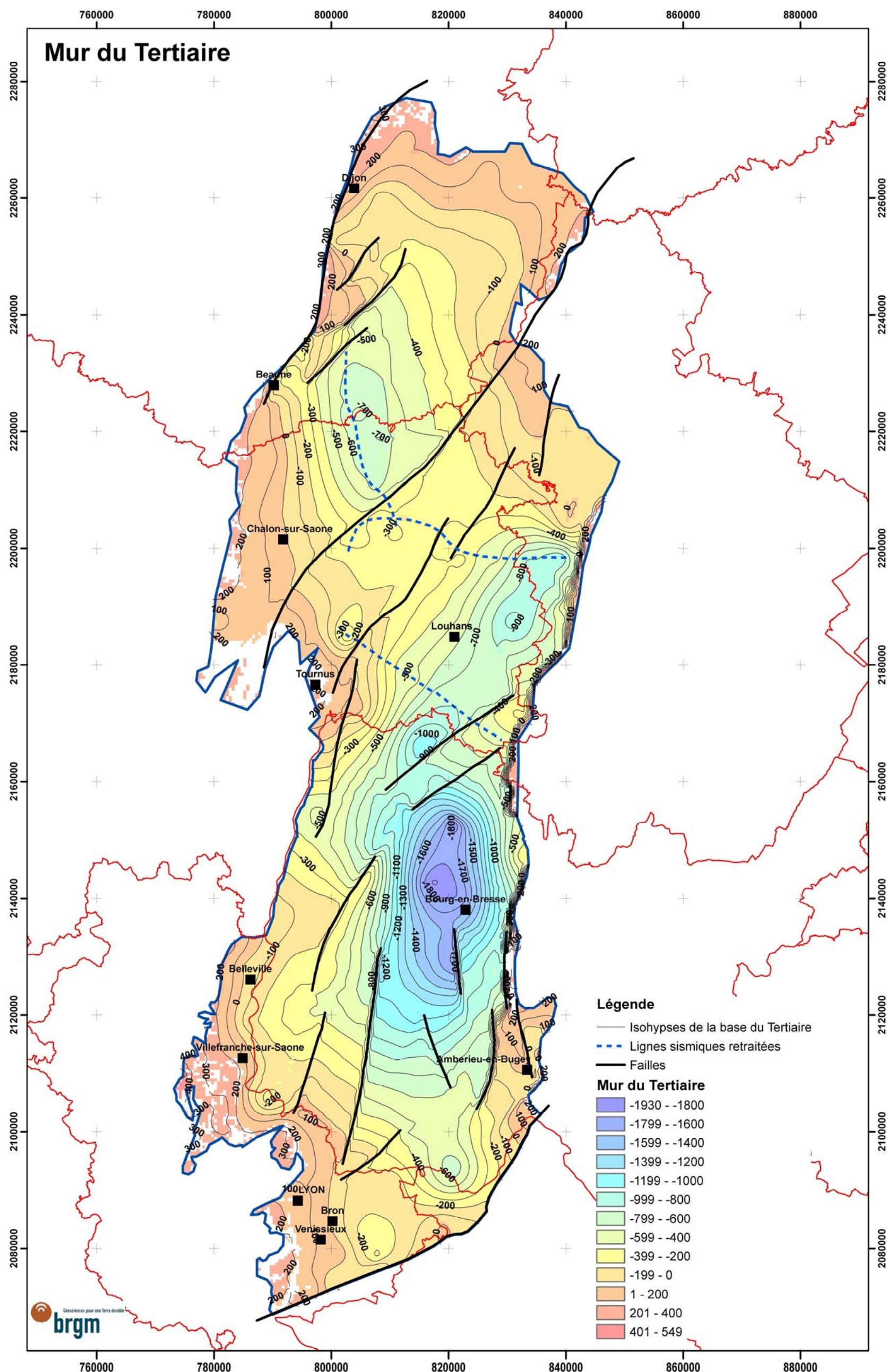
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DE L'OLIGOCENE**



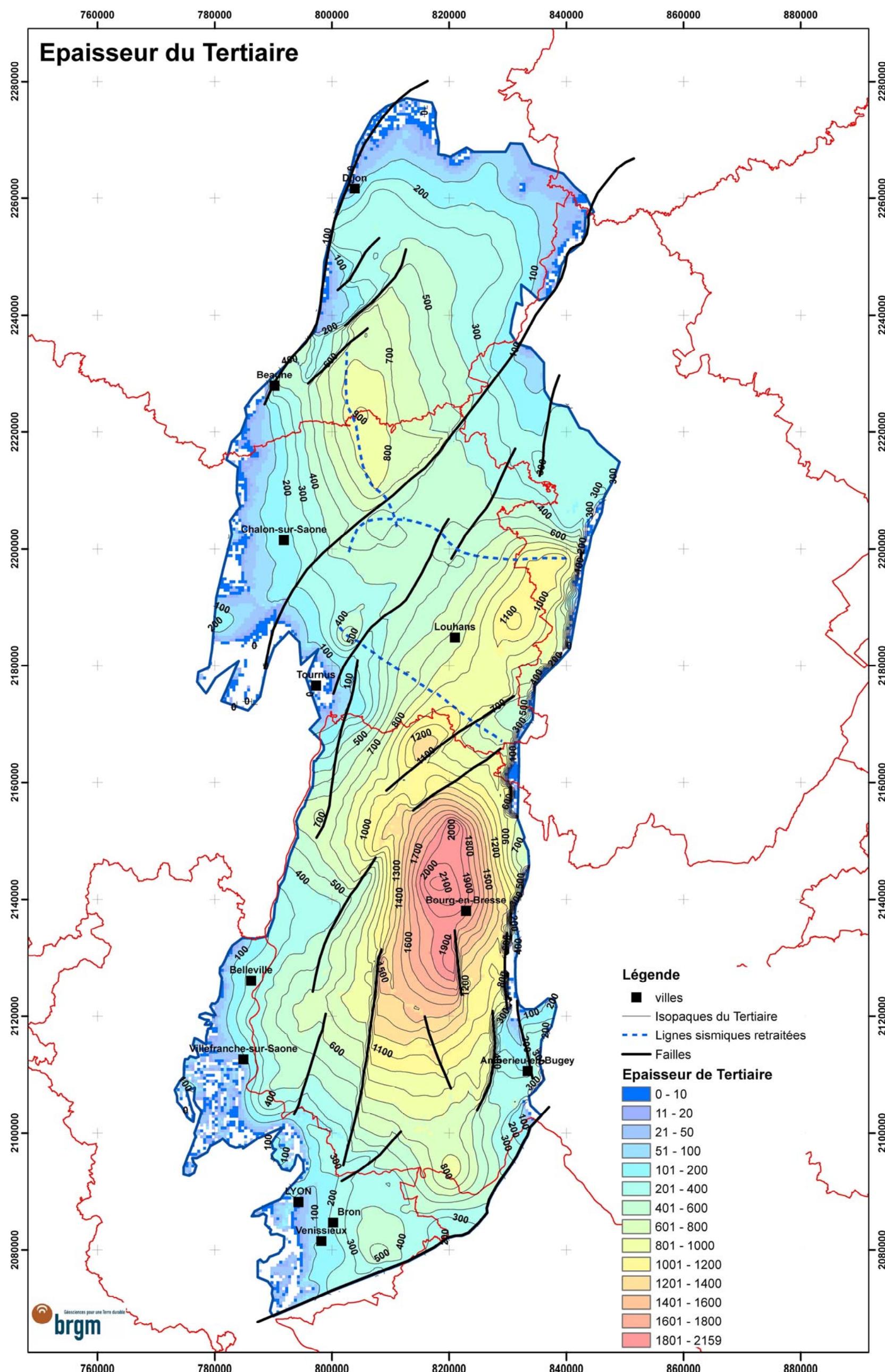
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DE L'EOCENE**



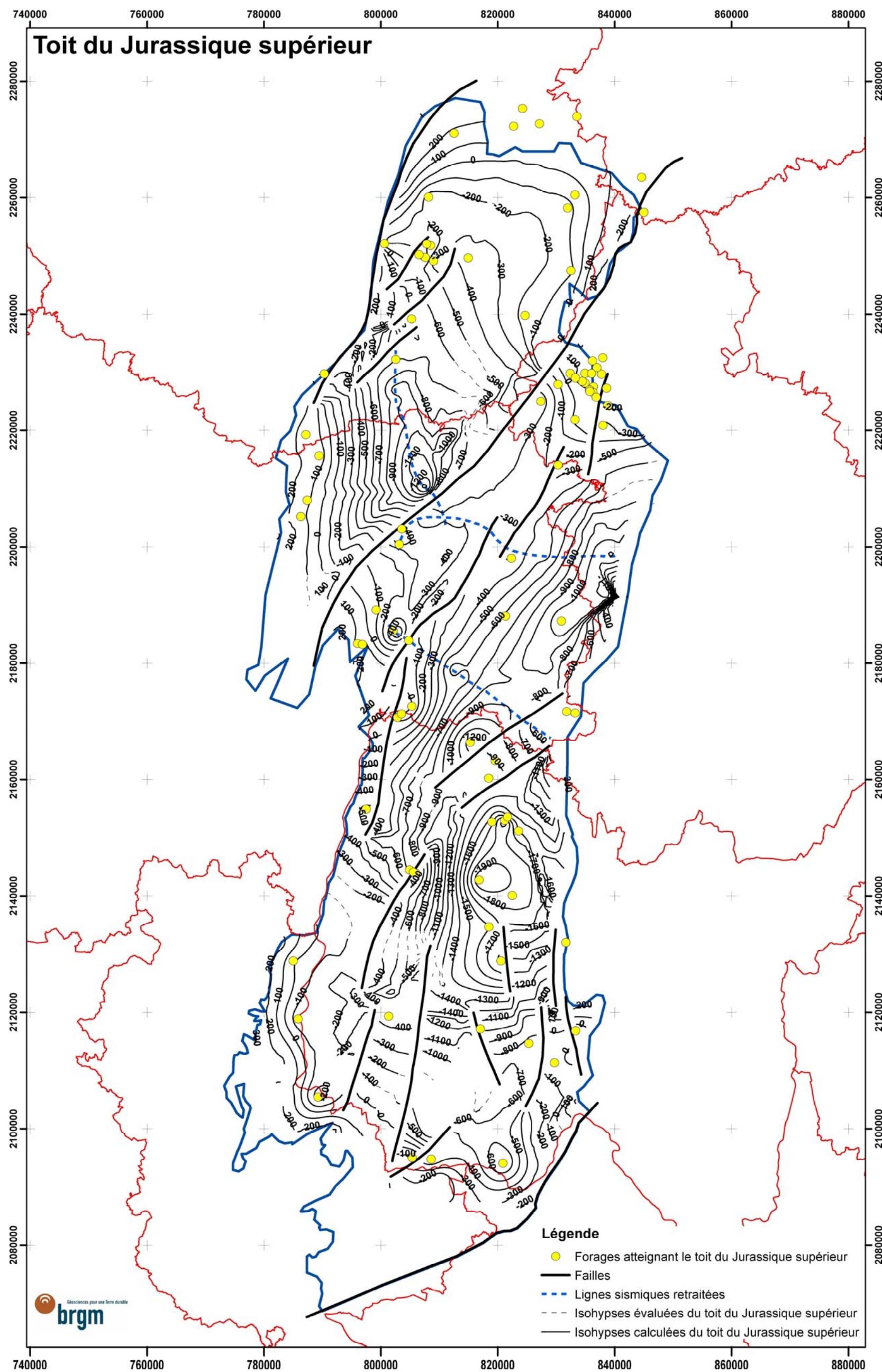
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DU CENOZOÏQUE / TERTIAIRE**



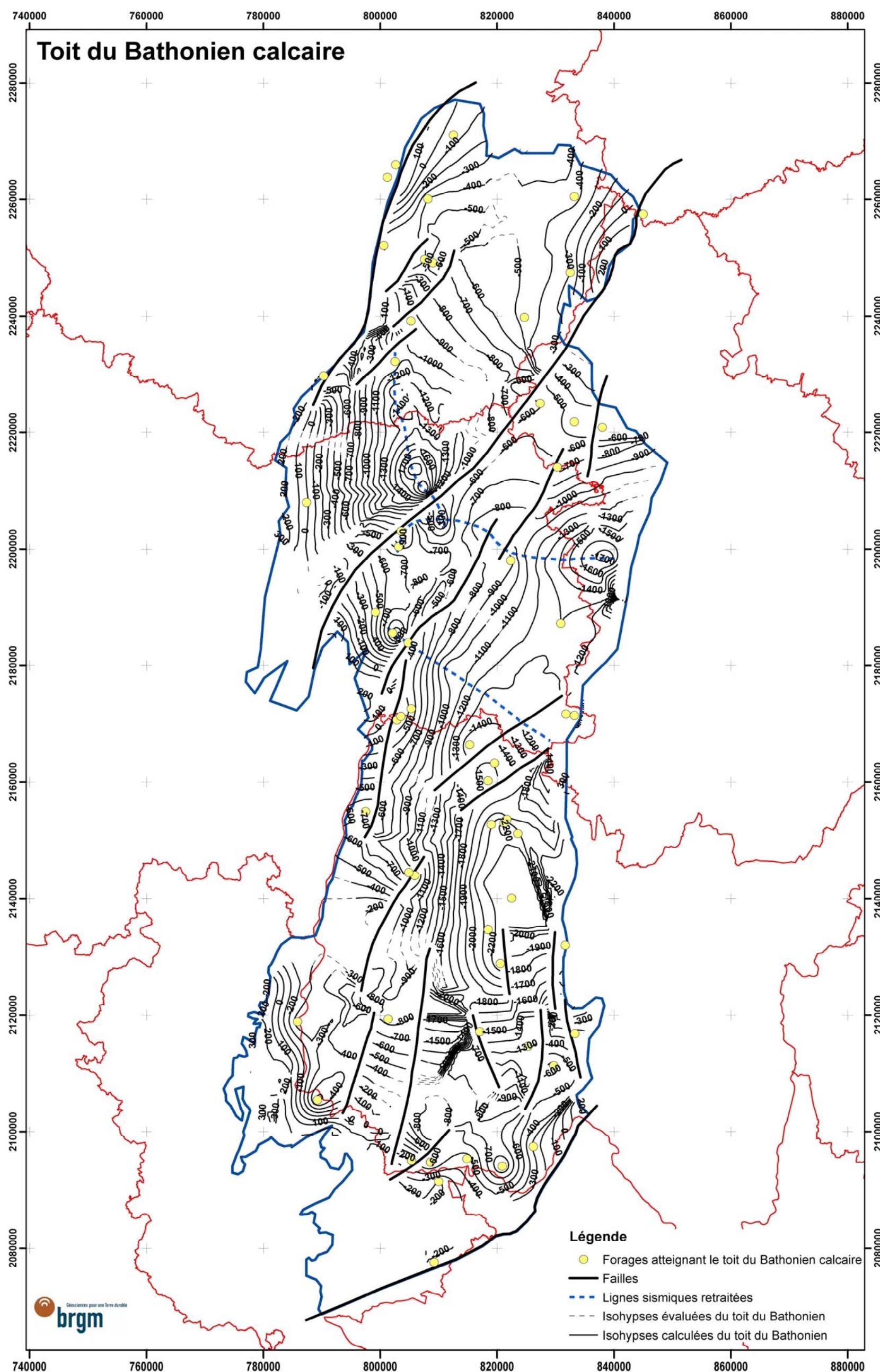
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOPAQUES DU CENOZOÏQUE / TERTIAIRE**



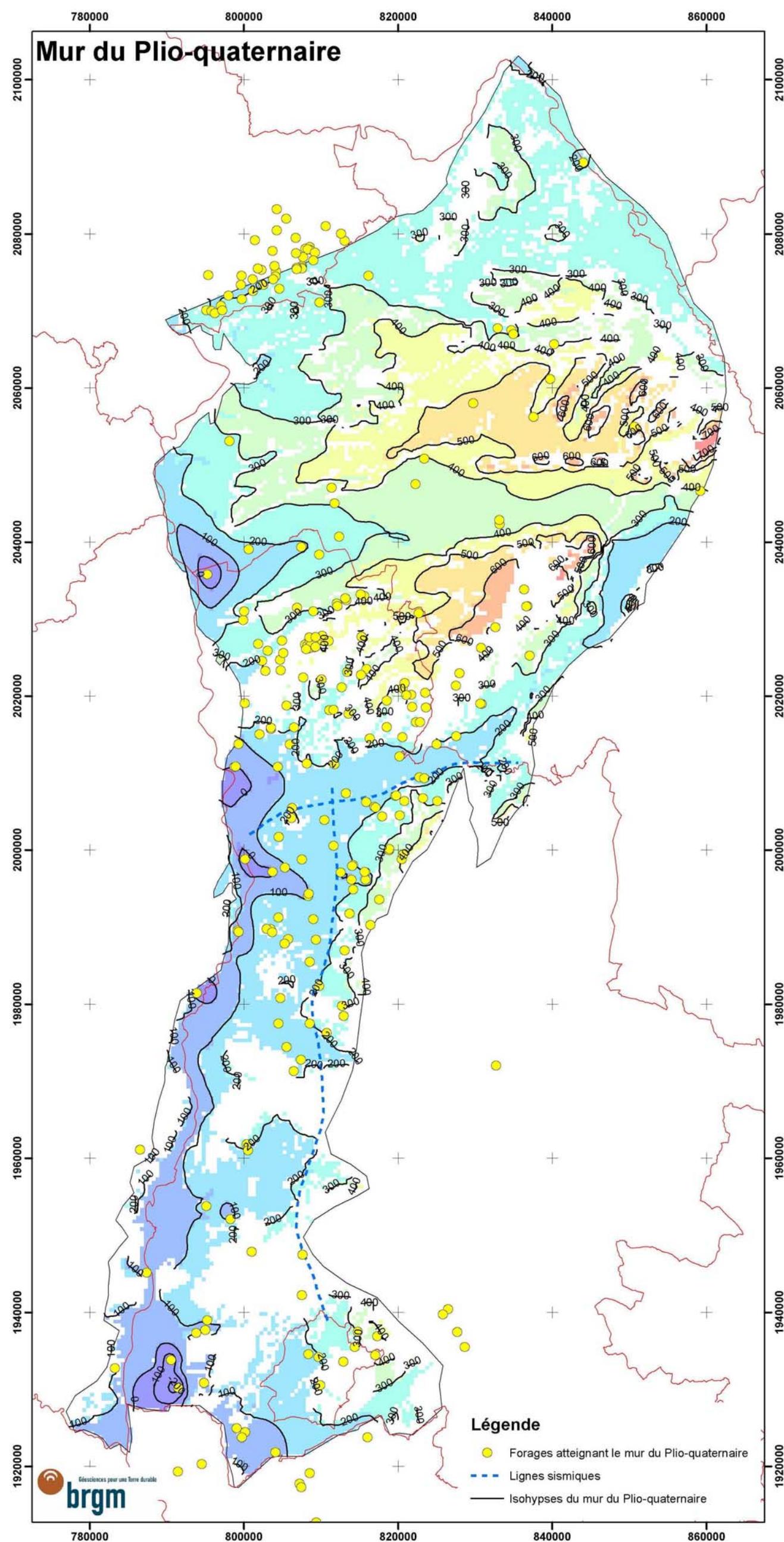
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU TOIT DU JURASSIQUE SUPERIEUR CALCAIRE**



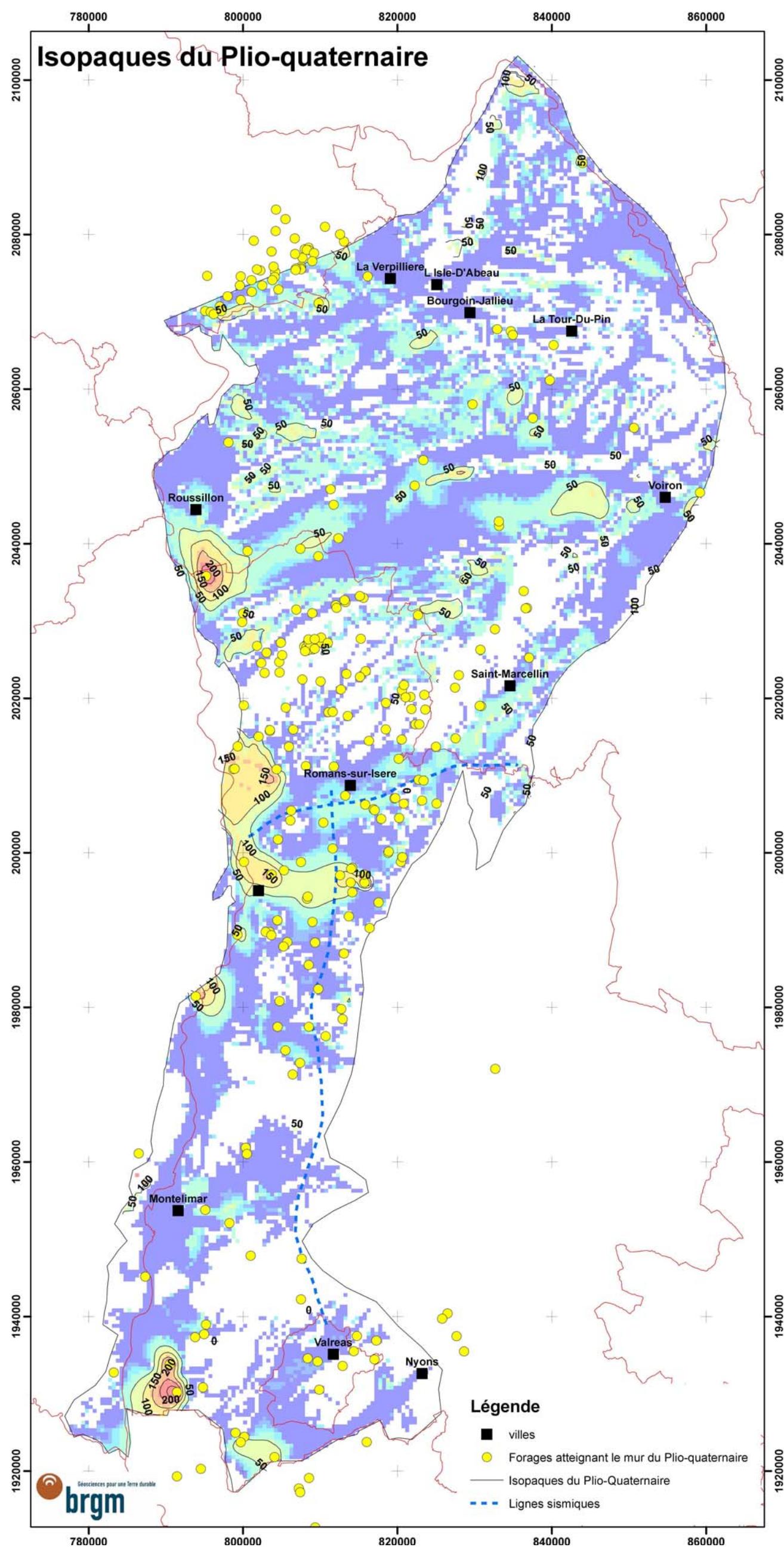
**MODELE NORD (BRESSE, DOMBES)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU TOIT DU DOGGER CALCAIRE**



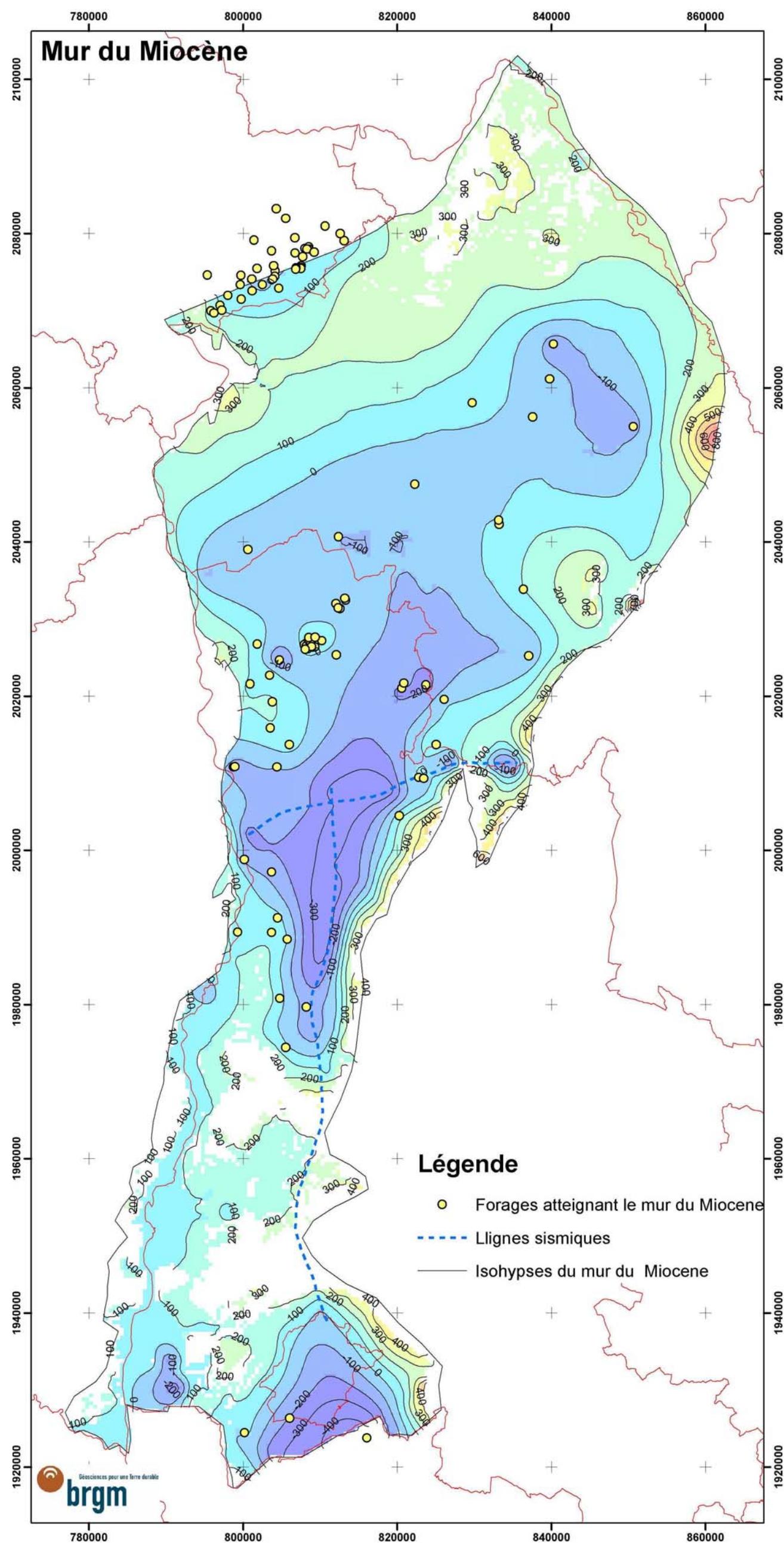
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DU PLIO-QUATERNAIER**



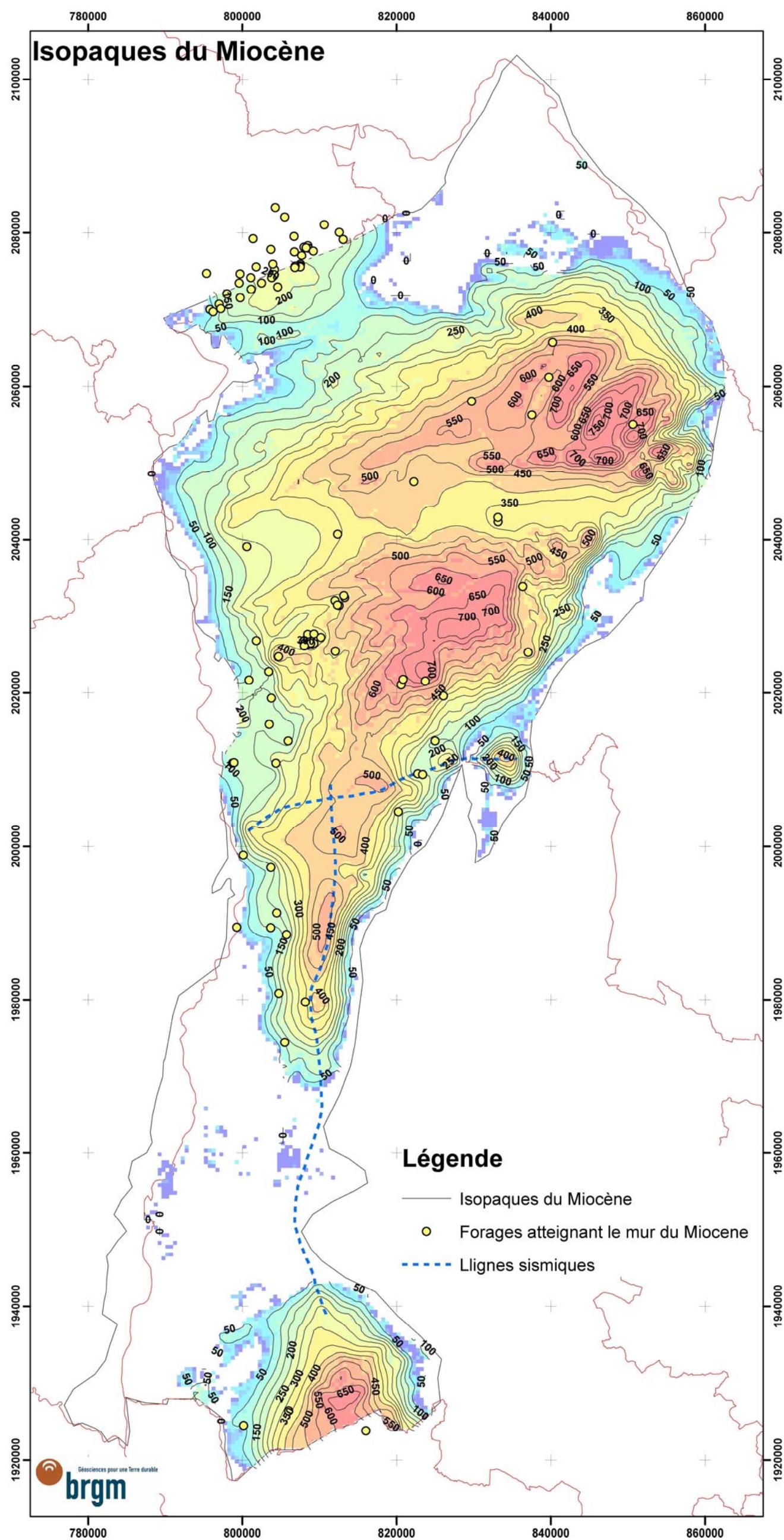
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOPAQUES DU PLIO-QUATERNAIRE**



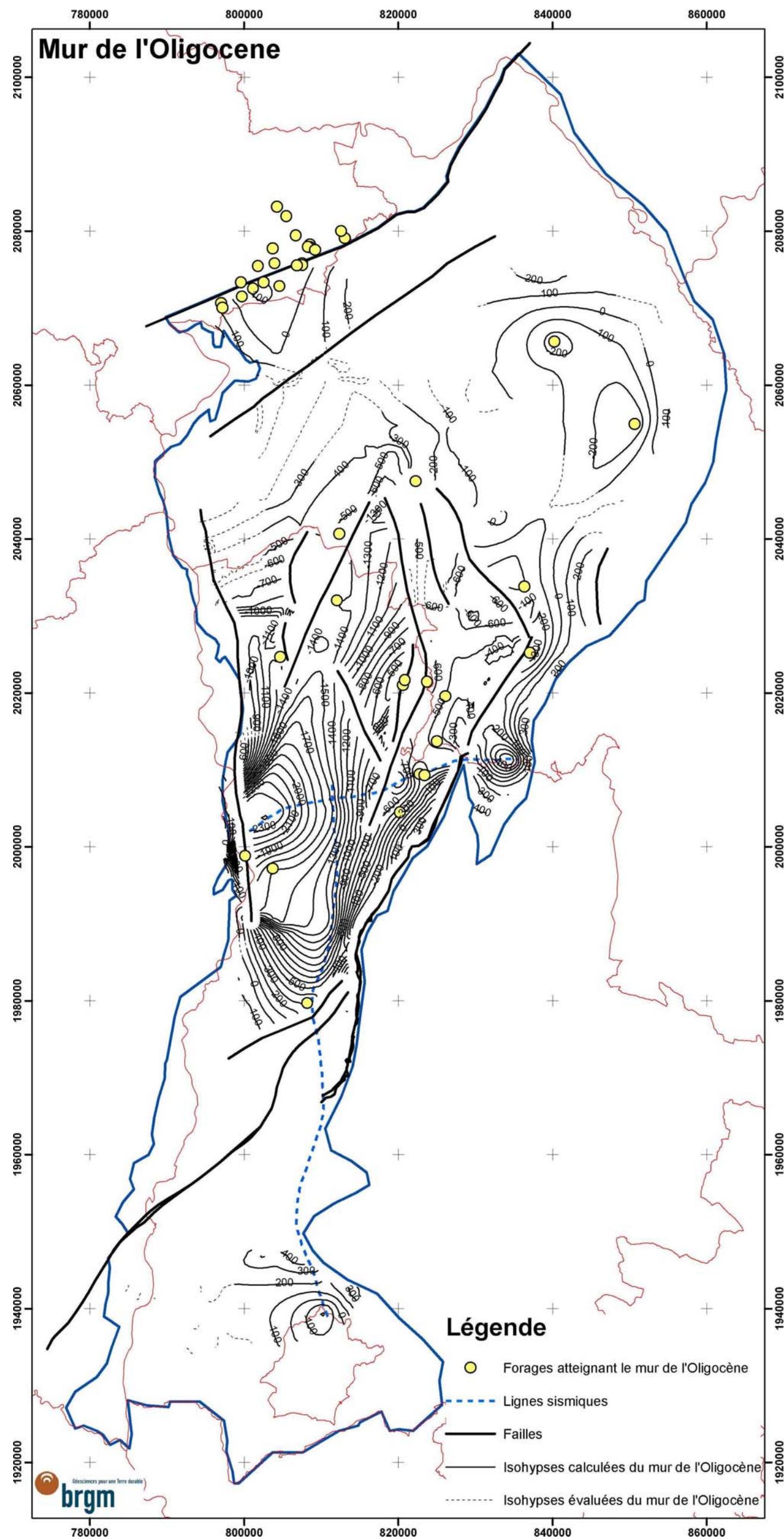
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DU MIOCENE MOLASSIQUE**



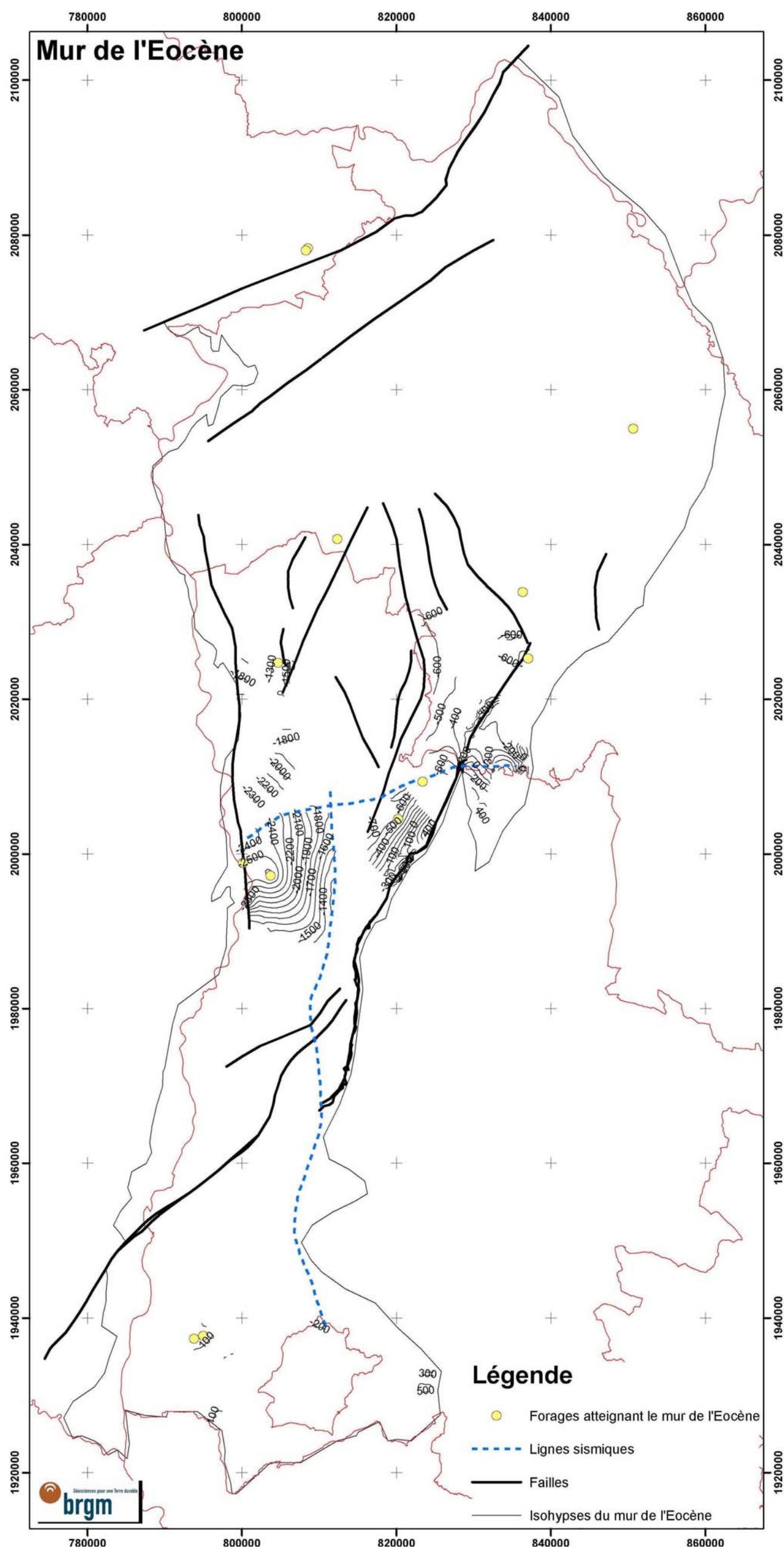
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOPAQUES DU MIOCENE MOLASSIQUE**



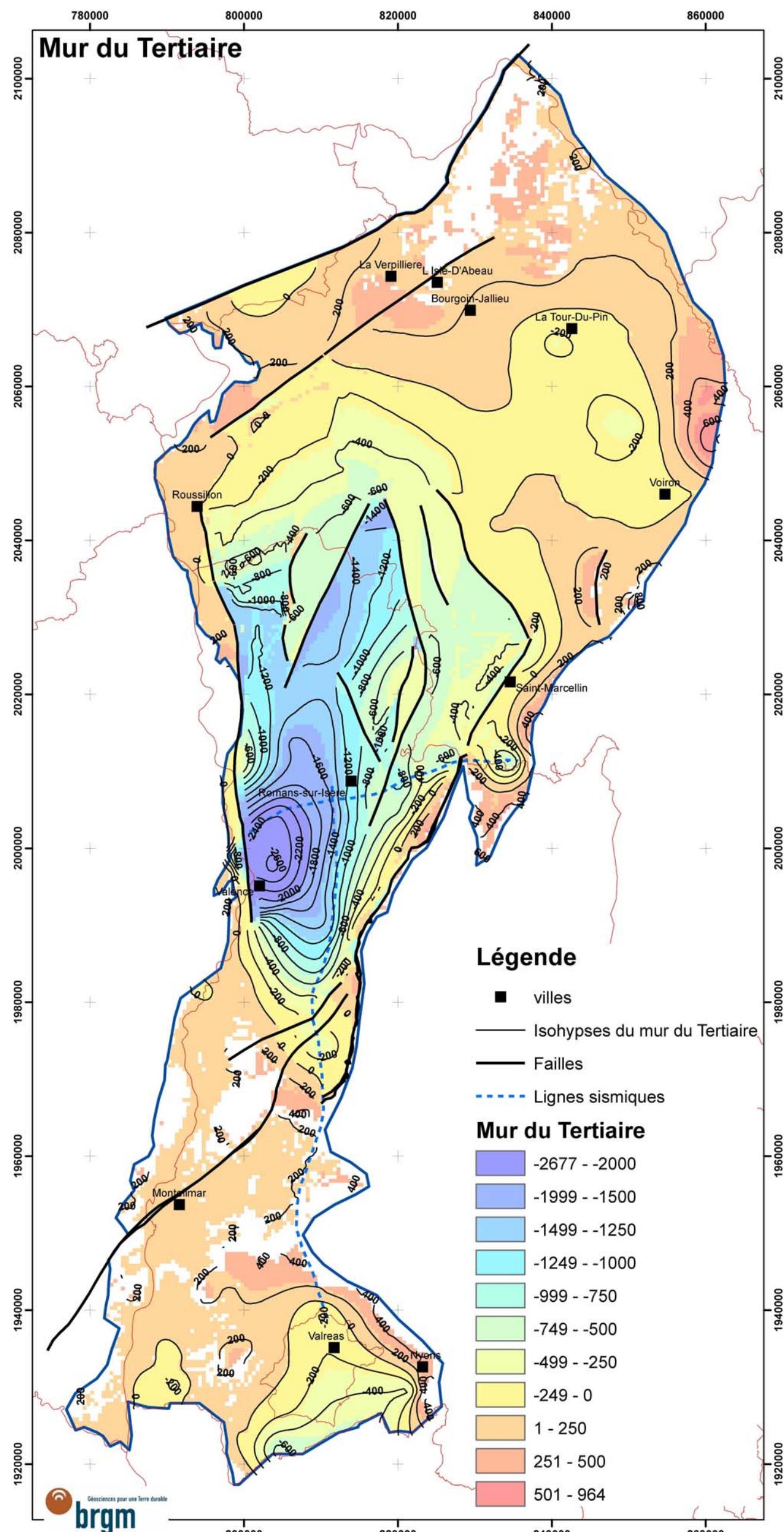
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DE L'OLIGOCENE**



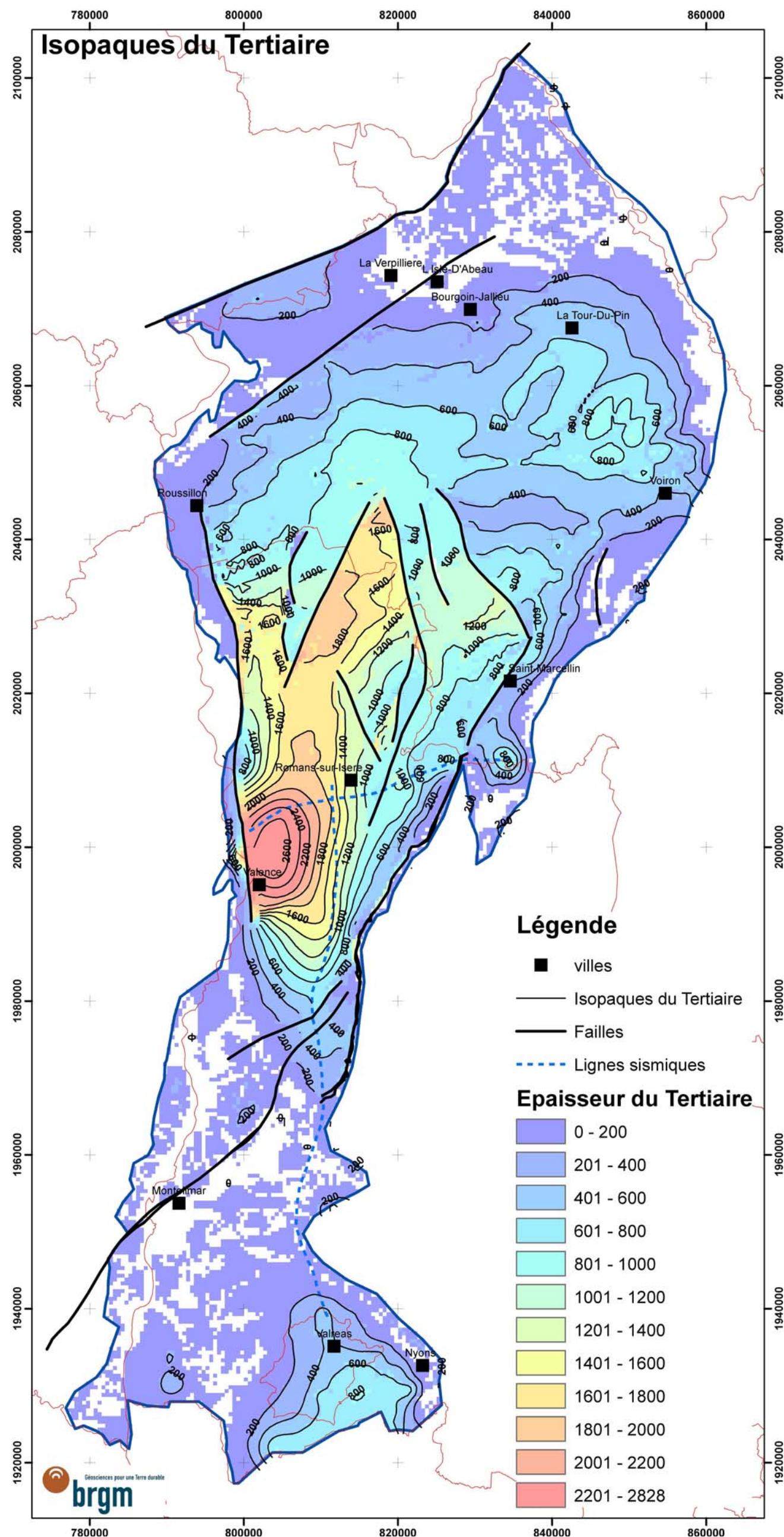
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DE L'EOCENE**



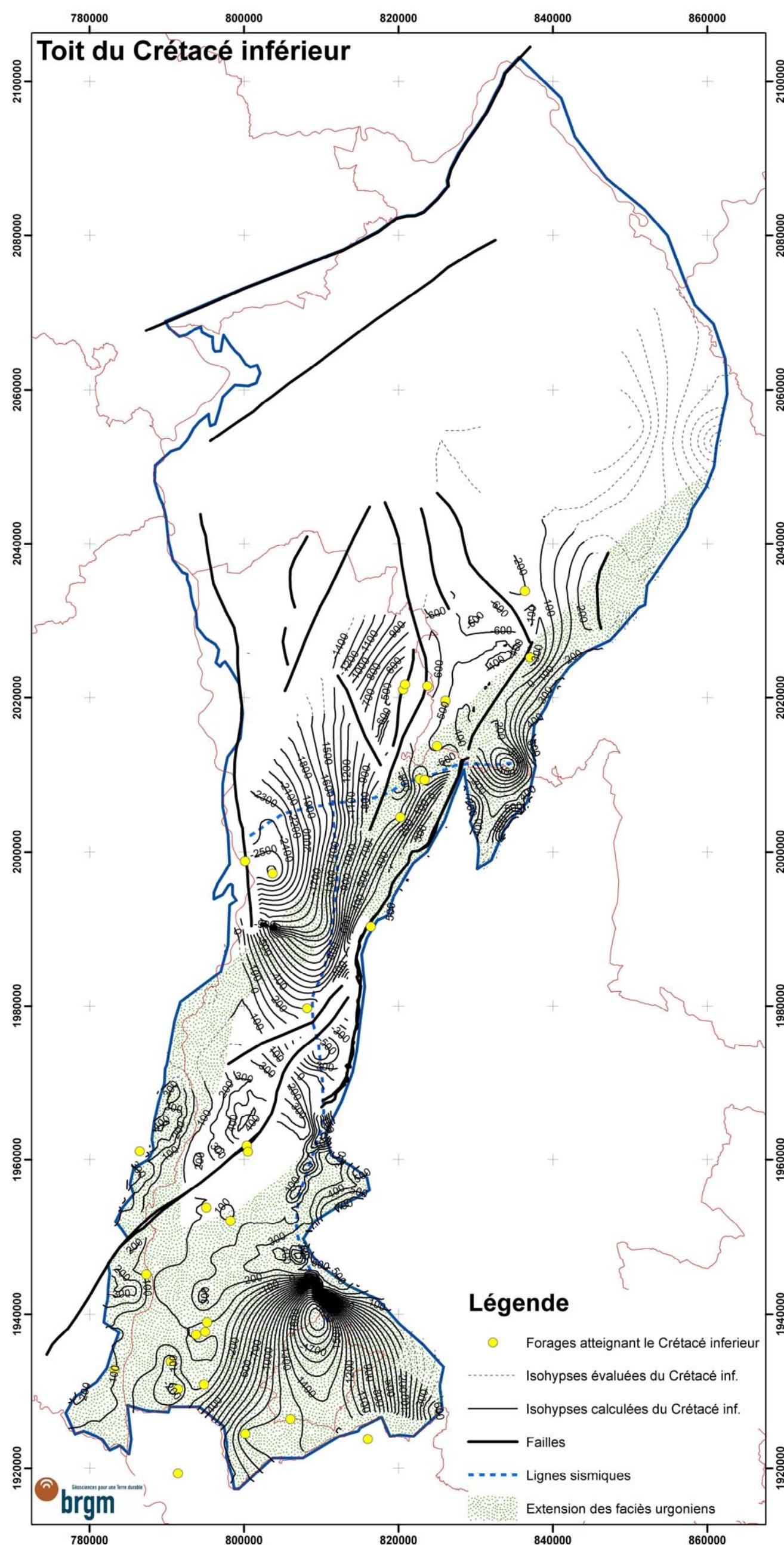
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU MUR DU CENOZOÏQUE / TERTIAIRE**



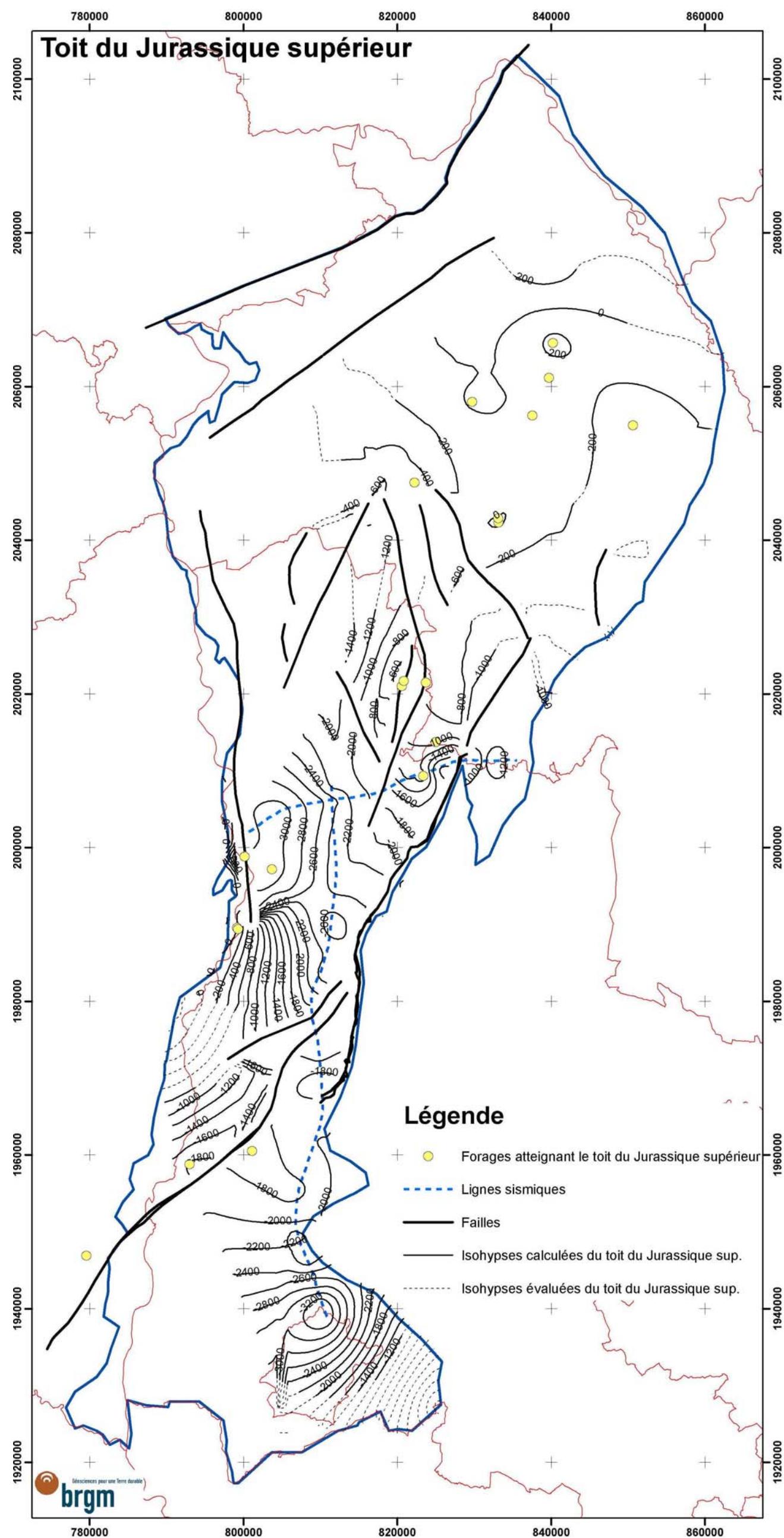
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOPAQUES DU CENOZOIQUE / TERTIAIRE**



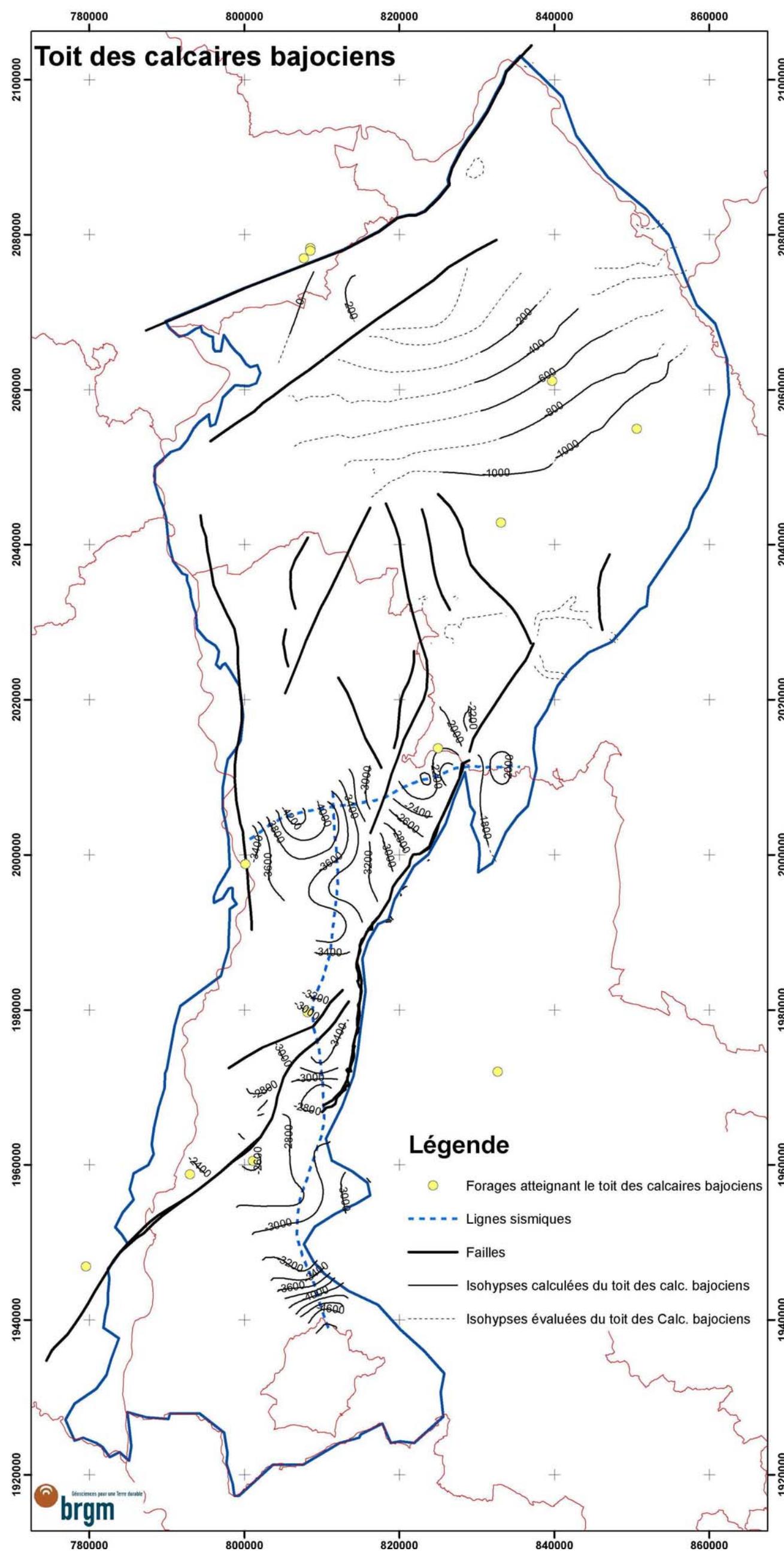
**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU TOIT DU CRETACE INFÉRIEUR CALCAIRE**



**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU TOIT DU JURASSIQUE SUPERIEUR CALCAIRE**



**MODELE SUD (BAS-DAUPHINE, COULOIR RHODANIEN)**  
**CARTOGRAPHIE EN ISOHYPSES DU TOIT DU DOGGER CALCAIRE**









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