

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE  
AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS  
DIVISION ÉTUDE DES SITES



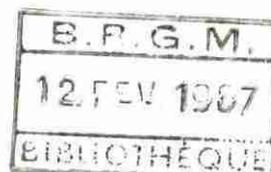
BRGM

stockage de déchets radioactifs  
en formations géologiques

RÉGION DE SEGRÉ  
(Maine-et-Loire)

confirmation des caractéristiques favorables

SYNTHÈSE





BRGM

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE  
AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS  
DIVISION ÉTUDE DES SITES  
31-33, rue de la Fédération - 75015 PARIS

## stockage de déchets radioactifs en formations géologiques

### RÉGION DE SEGRÉ (Maine-et-Loire)

confirmation des caractéristiques favorables

## SYNTHÈSE

J. Chantraine

avec la collaboration de

J.-L. Blès

J. Fourniguet

\*J.-J. Chauvel

D. Janjou

J.-P. Clément

P. Godefroy

J. Corpel

P. Ledru

N. Debéglià

O. Limasset

H. Etienne

P. Martin

E. Motti

\*Université de Rennes :  
Centre Armoricaïn d'Etude Structurale des Socles

octobre 1986  
86 SGN 414 GEO

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Département Carte géologique et Géologie générale

Département Génie Géologique, Département Stockages

B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: 38.64.34.34

Service Géologique Régional Pays-de-la-Loire

10, rue Henri-Picherit - 44300 NANTES - Tél.: 40.29.36.00

DIRECTION DE LA TECHNOLOGIE

Département Géophysique

B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: 38.64.34.34

## S O M M A I R E

RESUME .....	1
I - INTRODUCTION .....	3
I.1 - Choix du site de Segré .....	3
I.2 - Données au début de l'étude .....	5
I.3 - Objectif de l'étude .....	5
II - ARCHITECTURE DU BATI .....	9
II.1 - Cartographie géologique .....	9
II.2 - Caractères lithologiques .....	10
II.3 - Caractères structuraux .....	12
II.4 - Composition minéralogique .....	13
II.5 - Caractéristiques géophysiques .....	15
III - LES DISCONTINUITES DU BATI .....	19
III.1 - Analyse statistique .....	19
III.2 - Corrélations - Hiérarchisation .....	21
IV - LA STABILITE DU BATI .....	25
IV.1 - Les marqueurs récents .....	25
IV.2 - Manifestations récentes et actuelles .....	28
V - CONCLUSION .....	33
REFERENCES .....	36

## A V E R T I S S E M E N T

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs a chargé le Bureau de Recherches Géologiques et Minières de l'inventaire et de la sélection technique des sites de stockage de déchets radioactifs en formations géologiques profondes.

La première étape des études a consisté en l'inventaire, sur documents, des formations favorables en vue de la présélection des sites (1982).

L'objet de la deuxième étape est de confirmer les caractères favorables des régions présélectionnées. Cette confirmation est réalisée en deux phases successives :

- la première, qui est composée de plusieurs parties, comprend les études détaillées des données disponibles et leur vérification in situ par des techniques légères appropriées,
- la deuxième correspondra à la reconnaissance des caractéristiques en profondeur par des travaux lourds.

La présente étude a été effectuée dans le cadre des travaux de confirmation de 1ère phase - 1ère partie qui comprennent :

- une étude bibliographique (rapport B.R.G.M. 86 PAL 015)
- une étude géophysique (rapport B.R.G.M. 86 DT 16 GPH)
- une étude géologique (rapport B.R.G.M. 86 SGN 375 GEO)
- une étude structurale (rapport B.R.G.M. 86 SGN 370 GEO)
- une étude morphostructurale (rapport B.R.G.M. 86 SGN 376 GEO)
- une étude sur l'occupation du sol et du sous-sol (86 PAL 012)
- une étude de la sismicité (rapport BRGM 86 SGN 471 GEO)
- une étude sur la comparaison des nivellements (86 SGN 499 GEO)
- une synthèse générale (présent rapport)

R E S U M E

Les études réalisées dans la région de Segré par le BRGM à la demande de l'ANDRA dans le cadre de la sélection technique des sites de stockages nucléaires en formations schisteuses profondes, apportent les résultats suivants :

Les formations briovériennes régionales contiennent dans la partie haute de leur séquence, une série silto-argileuse homogène et épaisse qui n'est affectée que par une déformation d'intensité modérée en plis droits et ouverts associés à une schistosité généralement verticale ; à cette déformation succèdent plusieurs épisodes tectoniques qui provoquent la fracturation du bâti ; ces fractures se répartissent en familles directionnelles orientées NNW-SSE à N-S ainsi que NW-SE et NE-SW et s'organisent dans un système cohérent de contraintes successives.

Le bâti est affecté par des discontinuités tectoniques et géophysiques plus ou moins importantes ; un faisceau central constitue le couloir de Segré, orienté N 150° E, qui semble marquer un fossé tectonique actif ; à l'est de ce couloir le bâti est perturbé par de nombreux filons granitiques qui pourraient être les traces en surface d'un massif profond, situé à l'est de la Mayenne ; à l'ouest (secteur de Bourg d'Iré) le bâti apparaît plus homogène et affecté de fractures plus discrètes mais ce secteur est encore bordé en limite ouest de la région étudiée par un large faisceau de discontinuités orientées N 150° E (zone de Candé - Pouancé).

L'étude des divers marqueurs de la stabilité du bâti et en particulier de celle des formations superficielles mettent en évidence une organisation récente et/ou actuelle du domaine briovérien hérité de l'organisation hercynienne, en mettant l'accent sur le couloir de Segré comme ligne tectonique sensible, les deux blocs situés de part et d'autre semblant avoir un comportement plus homogène.

Des épaisseurs ponctuellement anormales des dépôts récents, connus à Segré même et dans la zone Candé - Pouancé, ainsi que la sismicité régionale, qui est modérée mais régulière, témoignent d'une activité tectonique persistante qui devrait être localisée dans les discontinuités les plus importantes du bâti. Mais l'étude du passé récent suggère que cette activité tectonique, qui ne doit pas être négligée, ne pourra cependant pas avoir, dans un proche avenir, de conséquences critiques.

Un secteur (Bourg d'Iré) est retenu comme le plus favorable pour les investigations approfondies de confirmation du site.

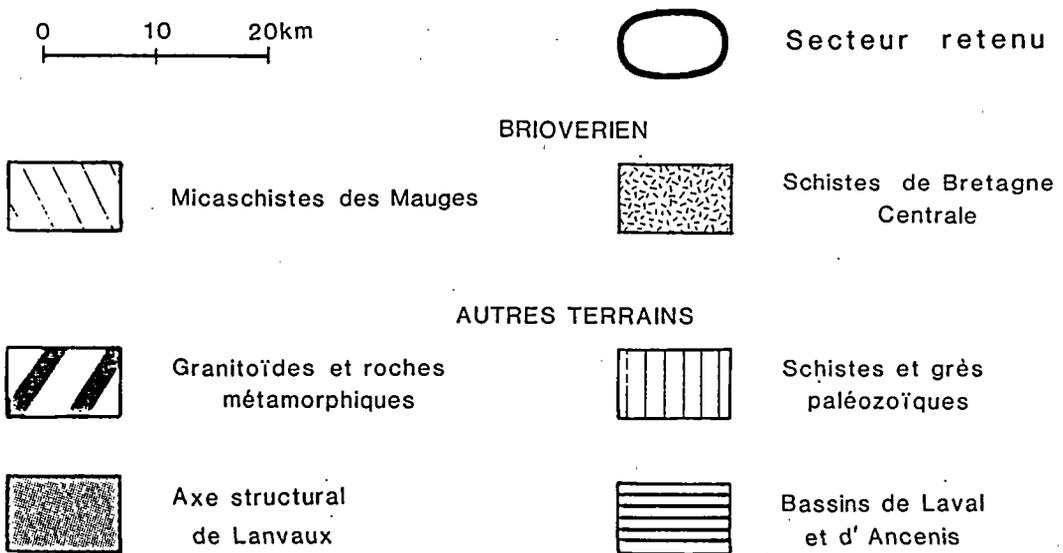
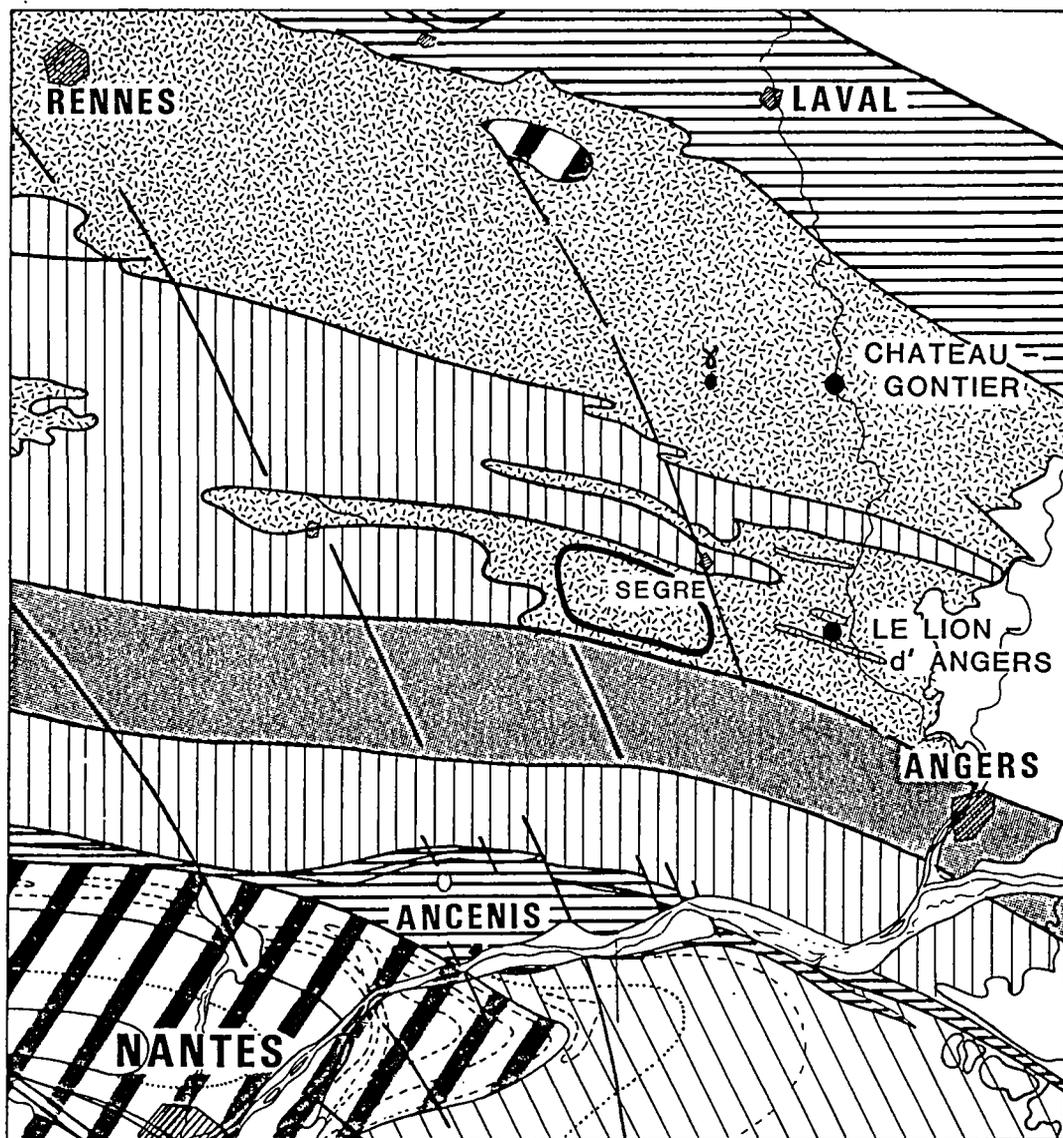


Fig. 1 - Situation du secteur de Segré (extrait de la carte tectonique de la France à 1/1 000 000)

I - INTRODUCTION

I.1 - CHOIX DU SITE DE SEGRE

Dans le cadre des études réalisées par le B.R.G.M. à la demande de l'A.N.D.R.A. pour la recherche d'emplacements appropriés au stockage de déchets nucléaires en formations géologiques profondes, les formations schisteuses dont on peut penser a priori qu'elles présentent une fracturation et une perméabilité moindre que les formations granitiques, ont été retenues comme des contextes favorables.

Rappelons que parmi les formations schisteuses inventoriées sur le territoire national les critères essentiels de sélection ont été les suivants (Autran et al., 1982) :

- région géodynamiquement stable, située à l'écart de toute zone connue pour une activité tectonique et/ou sismique notable
- caractères lithologiques suggérant une homogénéité, une épaisseur et une imperméabilité suffisante de la formation
- dispositif géométrique simple du bâti local affecté par une structuration et une fracturation d'intensité modérée
- pays sans implantation socio-économique importante.

Selon ces critères les investigations préliminaires ont sélectionné les formations schisteuses briovériennes de Bretagne centrale et en priorité les secteurs de Château Gontier et du Lion d'Angers (fig. 1). Le premier secteur a fait l'objet d'études de validation en 1984 (Guérangé et al. 1984) ; le présent rapport expose les résultats des études menées en 1986 dans l'objectif de confirmer les caractères favorables du second secteur.

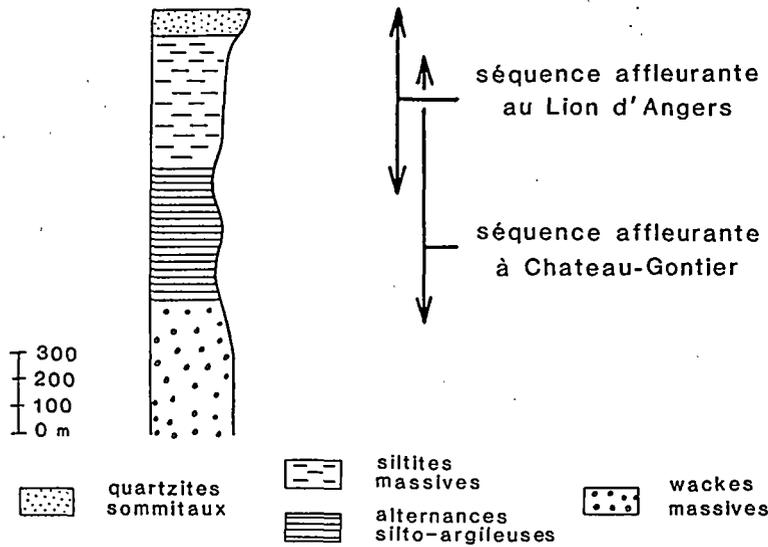


Fig. 2 - Coupe de la Mayenne : séquences lithologiques sur les segments du Lion d'Angers et de Château-Gontier

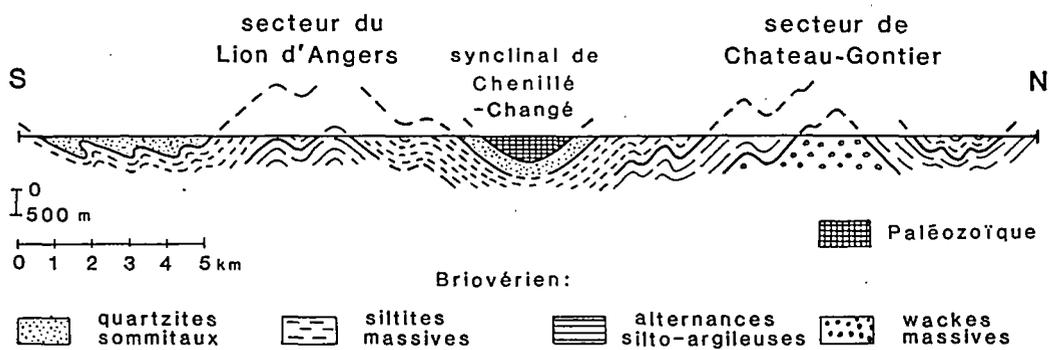


Fig. 3 - Coupe de la Mayenne : attitudes structurales sur les segments du Lion d'Angers et de Château-Gontier

## I.2 - DONNEES AU DEBUT DE L'ETUDE

On rappelle ici les principaux caractères géologiques et géophysiques du secteur du Lion d'Angers, appelé maintenant secteur de Segré, qui ont conduit à sa présélection :

- secteur situé dans une région géodynamiquement stable et à l'écart des grands accidents varisques sud armoricains qui pourraient rejouer en cas d'activité tectonique et/ou sismique

- formation homogène et épaisse (de l'ordre du millier de mètres) constituée d'alternances silto-argileuses et de siltites massives dans la partie haute de la séquence briovérienne régionale (fig. 2)

- dispositif structural monophasé en grands plis droits et ouverts associés à une schistosité généralement verticale, orientée de manière constante WNW-ESE (fig. 3)

- absence probable de perturbations importantes du bâti en profondeur, telle que des granites non affleurants

- espacement suffisant entre les accidents NNW-SSE qui traversent selon un large faisceau la partie orientale du Massif Armoricain.

Ces informations disponibles au début de l'étude provenaient des cartes géologiques et géophysiques existantes et d'une étude réalisée dans le cadre de l'action concertée Briovérien de la D.G.R.S.T. (Chantraine et al., 1983). Au contraire aucune donnée initiale n'existait sur les caractéristiques hydrogéologiques en profondeur des formations schisteuses régionales, qui sont un des éléments essentiels de la sélection technique et feront l'objet d'études ultérieures.

## I.3 - OBJECTIF DE L'ETUDE

Les divers travaux dont les résultats font l'objet de ce rapport de synthèse ont été entrepris au cours de l'année 1986 pour vérifier le pronostic favorable suggéré par les données initiales précédentes. Les études réalisées pour approfondir la connaissance de la région de Segré sont

les suivantes :

- étude du secteur par les méthodes de la télédétection
- établissement d'un document géologique détaillé
- analyse lithologique et structurale des formations
- reconnaissance des formations superficielles
- analyse statistique de la fracturation
- analyse morphostructurale régionale
- interprétation de la couverture aéromagnétique régionale
- reconnaissance gravimétrique approfondie
- étude de la sismicité historique
- analyse comparée de nivellements.

Ces divers travaux ont été réalisés à la suite d'une analyse bibliographique critique et d'une enquête sur l'occupation du sol et du sous-sol qui n'a mis en évidence aucun obstacle particulier à l'implantation d'un stockage profond.

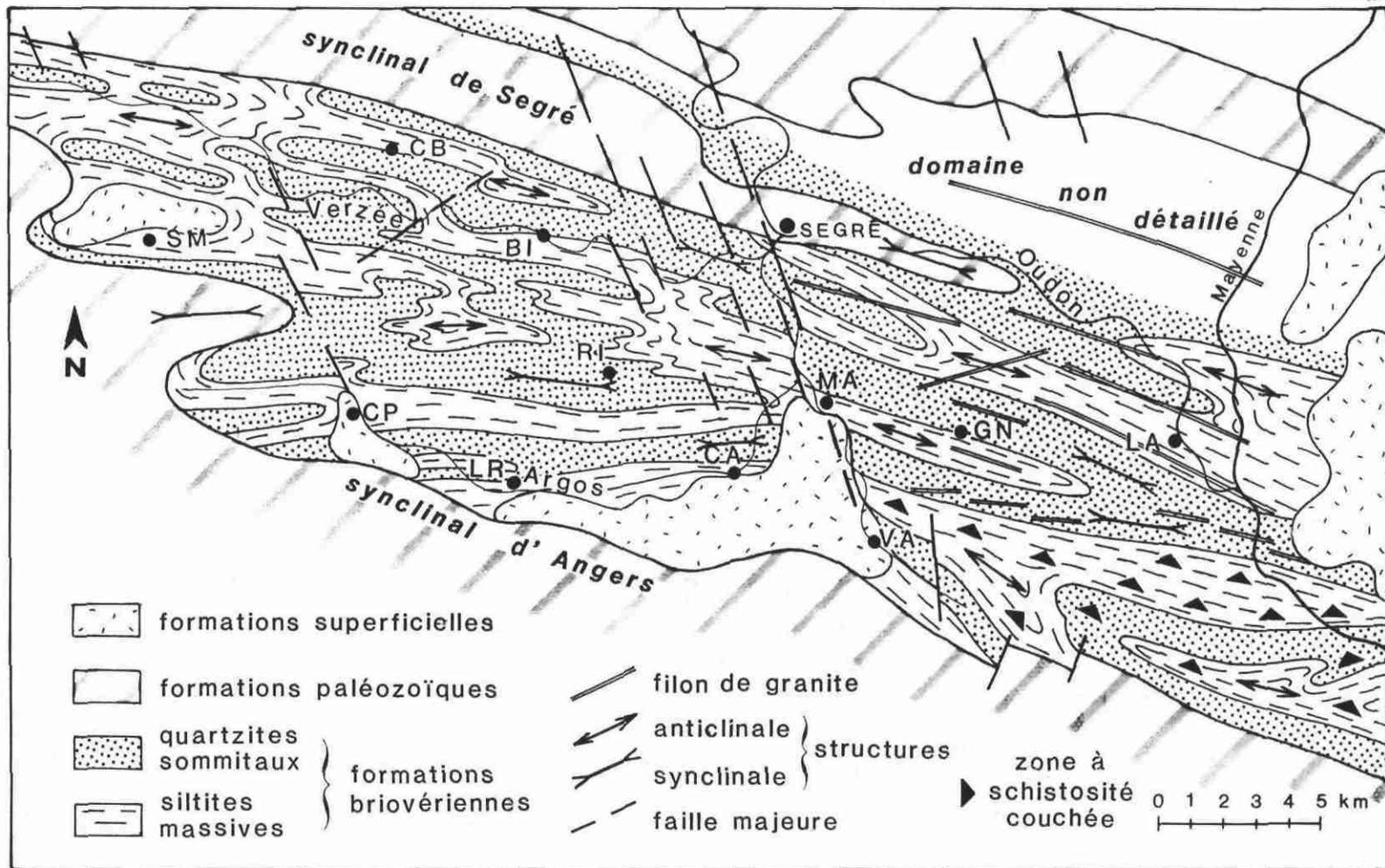


Fig. 4 - Esquisse géologique de la région de Segré  
(pour les noms de lieux voir figure n°12)



## II - L'ARCHITECTURE DU BATI

### II.1 - CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE

Une carte à 1/50 000 de la région de Segré a été établie (fig. 4). Les formations briovériennes, les seules qui nous intéressent ici, affleurent dans un anticlinal vaste et complexe (anticlinal du Lion d'Angers) orienté WNW-ESE et situé entre les synclinaux paléozoïques d'Angers au sud et de Segré au nord. Les terrains briovériens sont en relative dépression (30 à 70 m) par rapport aux reliefs paléozoïques (70 à 100 m). D'une manière globale la surface topographique est en légère pente vers l'est, les cours d'eau Verzée, Argos, Oudon étant drainés par la Mayenne. Au contraire les structures briovériennes s'annoient vers l'ouest, avec un pendage très faible, sous les synclinaux paléozoïques du Sud de Rennes.

Dans toute la partie orientale de la région étudiée et davantage encore à l'est de la Mayenne, la cartographie est rendue difficile par l'abondance des formations superficielles de type altérites, alors que dans la partie ouest les formations briovériennes affleurent largement.

La carte met en évidence, trait structural majeur de la région, un faisceau de fractures, orienté NNW-SSE, large de quelques kilomètres, passant par Segré et déjà connu dans le Paléozoïque, qui perturbe fortement les structures régionales ; ce couloir, dont un segment est marqué par des dépôts de sables rouges (pliocène probable), fait partie des grandes failles crustales qui traversent tout le domaine oriental du Massif Armoricaïn (à l'est de Rennes).

La carte met aussi en évidence l'existence de nombreux filons de granite et de petits stocks de volcanites acides, localisés dans la partie orientale de la région étudiée, à l'est du couloir de Segré et en particulier dans la région du Lion d'Angers.

Grâce à une série lithologique briovérienne bien différenciée, la carte permet de dessiner la succession des structures anticlinales occupées par des faciès de types siltites massives plus ou moins argileuses et ardoisières, et des structures synclinales occupées par des quartzites qui font indiscutablement partie de la série briovérienne de Bretagne Centrale.

## II.2 - CARACTERES LITHOLOGIQUES

L'identification des formations briovériennes qui affleurent dans la région de Segré confirme qu'elles appartiennent à la partie haute de la série connue en Bretagne Centrale.

Elles comprennent de bas en haut (fig. 5) :

- une formation de siltites massives
- un horizon de poudingue quartzeux
- une formation de quartzites sommitaux

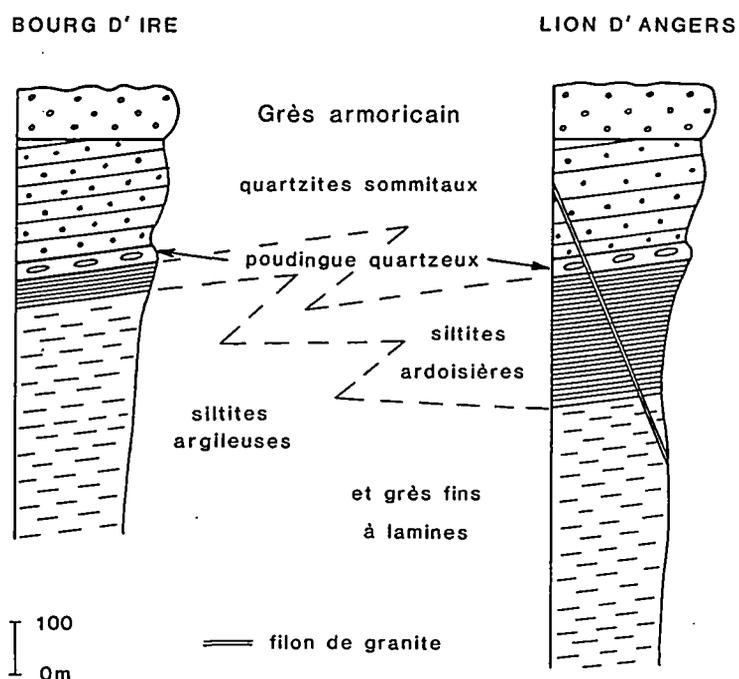


Fig. 5 - Séquences lithologiques comparées des secteurs de Bourg d'Iré et du Lion d'Angers

- *La formation des siltites massives* se présente sous forme d'alternances rythmiques, marquées par les variations des proportions respectives de quartz et de phyllites, les faciès allant depuis des siltites argileuses jusqu'à des argilites silteuses, les minéraux constitutifs essentiels étant le quartz, l'illite et la chlorite. La texture des roches est recristallisée par un métamorphisme de faible intensité, c'est à dire que les grains sont soudés entre eux ; ces grains sont généralement fins (de l'ordre de 50 $\mu$ ) mais certaines passées peuvent être plus grossières, les faciès étant alors des arénites.

L'épaisseur de cette formation est estimée entre 500 et 700 mètres ; elle est homogène et monotone mais contient cependant localement quelques petits niveaux d'origine volcanique (tufs ou laves acides).

Dans la coupe de la Mayenne cette formation est surmontée par une formation plus argileuse (argilites silteuses) à caractère ardoisier de quelques centaines de mètres d'épaisseur qui apparaît lenticulaire ou discontinue puisqu'elle n'a pas été retrouvée à l'affleurement dans la zone ouest (secteur de Bourg d'Iré, fig. 5).

- *Le poudingue quartzeux* connu sous le nom de "poudingue de Gourin" semble former un horizon relativement continu, d'une dizaine de mètres de puissance, à la base des quartzites sommitaux ; mais il est probable que, de manière plus détaillée, il soit constitué par un chapelet de lentilles se relayant et se répétant à ce niveau de la série. C'est donc un niveau hétérogène où alternent divers faciès : conglomérats à galets grossiers, microconglomérats, arénites quartzieuses mais qui présentent toujours un caractère siliceux compétent.

- *La formation des quartzites sommitaux* est constitué d'alternances silto-arénitiques dont l'aspect quartzitique induré est provoqué par les recristallisations métamorphiques. Des bancs d'arénites quartzieuses massives de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur sont ainsi intercalés

dans des alternances silto-quartzieuses, l'ensemble pouvant avoir quelques centaines de mètres d'épaisseur. Au coeur des structures briovériennes, les quartzites affleurent dans les gouttières synclinales, qui arment le relief dans la zone ouest (secteur de Bourg d'Iré, fig. 5).

*Dans l'objectif d'un stockage profond, la formation briovérienne des siltites massives, avec ou sans les argilites ardoisières, présente des caractères a priori favorables à une implantation souterraine (homogénéité et épaisseur, matrice phylliteuse abondante). Cette formation affleure ou se situe sous une faible tranche de quartzites.*

### II.3 - CARACTERES STRUCTURAUX

Les formations briovériennes sont affectées par des plis droits et ouverts, d'amplitude hectométrique à kilométrique, associés à une schistosité généralement verticale contemporaine du métamorphisme qui demeure très modéré (fig. 6).

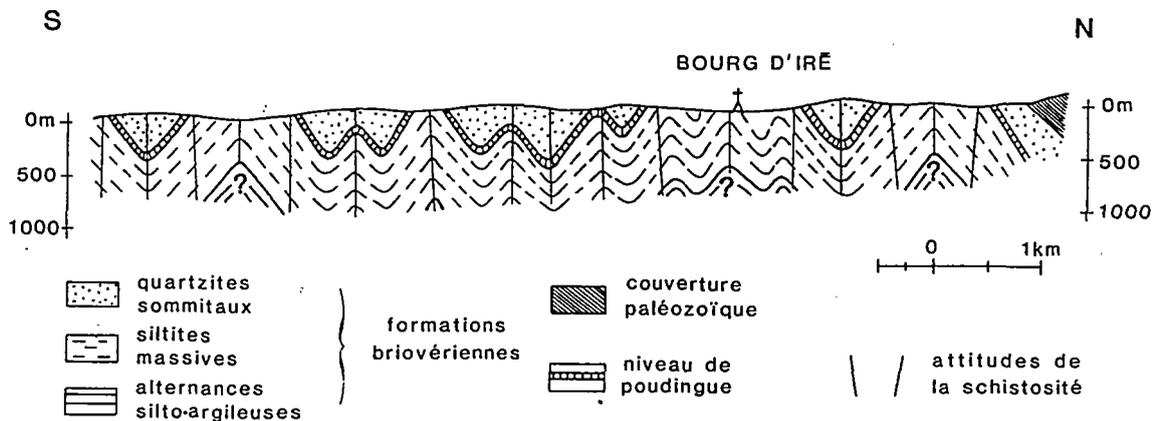


Fig. 6 - Coupe schématique du domaine briovérien au méridien de Bourg d'Iré

Ainsi, le bâti peut montrer deux surfaces d'anisotropie principale : la stratification dont les pendages sont variables, souvent compris entre 50° et 70° dans le secteur de Bourg d'Iré, qui est la surface d'anisotropie principale dans les niveaux compétents (quartzites) ; la schistosité pénétrative, dont le pendage est souvent proche de la verticale dans le secteur de Bourg d'Iré, qui est la surface d'anisotropie principale dans les formations silto-argileuses (siltites massives et alternances).

Les structures sont orientées WNW-ESE (fig. 4) ; bien que souvent proches de l'horizontale, les linéations axiales atteignent localement une trentaine de degrés : l'intersection de ces structures par la surface topographique entraîne alors un dessin cartographique relativement compliqué. Cependant la simplicité structurale du bâti, affecté par une seule phase de plissement, permet de reconnaître la surface avec une précision convenable et d'extrapoler en profondeur avec une assez bonne fiabilité.

Cette simplicité structurale est localement perturbée par différentes discontinuités et en particulier par le faisceau de fractures de Segré, et par quelques rares anomalies comme celle de la région de Pruillé, dans le sud-est de la carte, où la structuration s'intensifie, les plis se resserrent et se déversent et la schistosité se couche (fig. 4).

*La formation favorable des siltites massives présente comme surface d'anisotropie principale la schistosité pénétrative verticale qui est généralement oblique ou transverse sur la stratification. Elle est affectée par une succession de structures simples alternativement anticlinales et synclinales.*

#### II.4 - COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

Une analyse détaillée des sédiments briovériens a été menée sur une quarantaine d'échantillons afin de déterminer la composition minéralogique des roches et de caractériser l'intensité de l'évènement tectono-métamorphique régional.

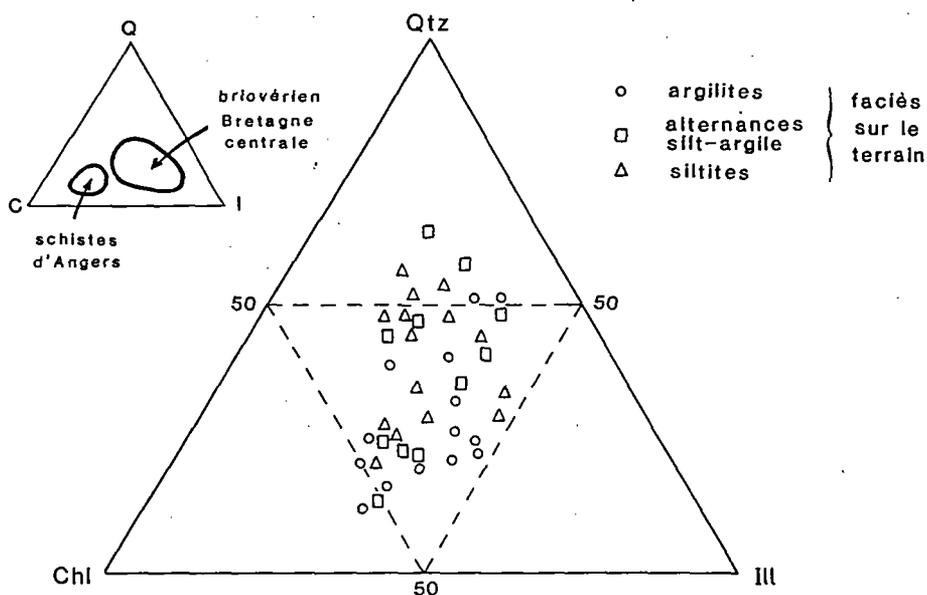


Fig. 7 - Distribution des échantillons dans le diagramme Quartz - Chlorite - Illite

Les roches sont constituées essentiellement de quartz et de phyllites, le plagioclase étant souvent présent mais discret ; les phyllites sont en quantités égales des illites et des chlorites (fig. 7).

En dehors des faciès de quartzites qui n'ont pas été échantillonnés, les proportions respectives de quartz et de phyllites varient d'un rapport 70/30 à un rapport 30/70, c'est-à-dire que la matrice argileuse constitue toujours au moins 30 % des siltites massives et jusqu'à 70 % des faciès ardoisiers.

En outre l'étude de la cristallinité des phyllites et des minéraux ferro-titanés opaques ne montre aucune anomalie significative qui pourrait mettre en évidence, dans la zone ouest de la région de Segré, quelque perturbation provoquée par d'éventuels granites profonds.

*Les compositions minéralogiques et les recristallisations métamorphiques suggèrent une faible porosité de matrice favorable au caractère imperméable des formations silto-argileuses briovériennes et un pouvoir élevé de rétention favorable au confinement des radionucléides dans ces formations.*

## II.5 - CARACTERISTIQUES GEOPHYSIQUES

L'interprétation des données géophysiques régulières (gravimétrie à maille large et aéro-magnétisme\*) ont permis de mettre en évidence les grands traits régionaux suivants :

Dans le domaine briovérien, qui correspond à une zone gravimétrique relativement légère par rapport aux formations paléozoïques, aucune perturbation importante n'est mise en évidence ; une vaste zone à caractère anormale léger se dessine, orientée NW-SE, dans la partie orientale du domaine (vallée de la Mayenne) : elle pourrait correspondre à un massif de granite profond, suggéré par les nombreux filons de granite qui affleurent dans cette partie (fig. 8).

Cette interprétation est corroborée par la cartographie aéro-magnétique qui montre des anomalies particulières (à caractère inverse par rapport au champ actuel) développées dans la partie orientale du domaine briovérien et qui pourraient être provoquées, comme cela est connu par ailleurs, par l'effet de contact de granites profonds. En outre l'existence d'une anomalie de même type a conduit, dans la partie ouest du domaine (région de Challain), à suspecter également la présence d'un granite, hypothèse infirmée par diverses études réalisées dans cet objectif (analyse de la cristallinité des phyllites et des minéraux ferro-titanés opaques).

Ces résultats ont conduit à limiter le lever gravimétrique détaillé à la partie ouest du domaine briovérien ; cette étude confirme le caractère très peu contrasté de ce secteur, globalement léger par rapport aux formations paléozoïques bordières (fig. 8).

En outre les orientations gravimétriques demeurent, dans la majeure partie de ce secteur, parallèles aux structures briovériennes ; on remarque ainsi une zone médiane à caractère anormale léger qui coïncide relativement bien avec la principale structure synclinale où les quartzites présentent leur maximum d'épaisseur ; la majeure partie des structures gravimétriques régionales apparaissent ainsi "formationnelles".

---

\* lever de la S.N.E.A.

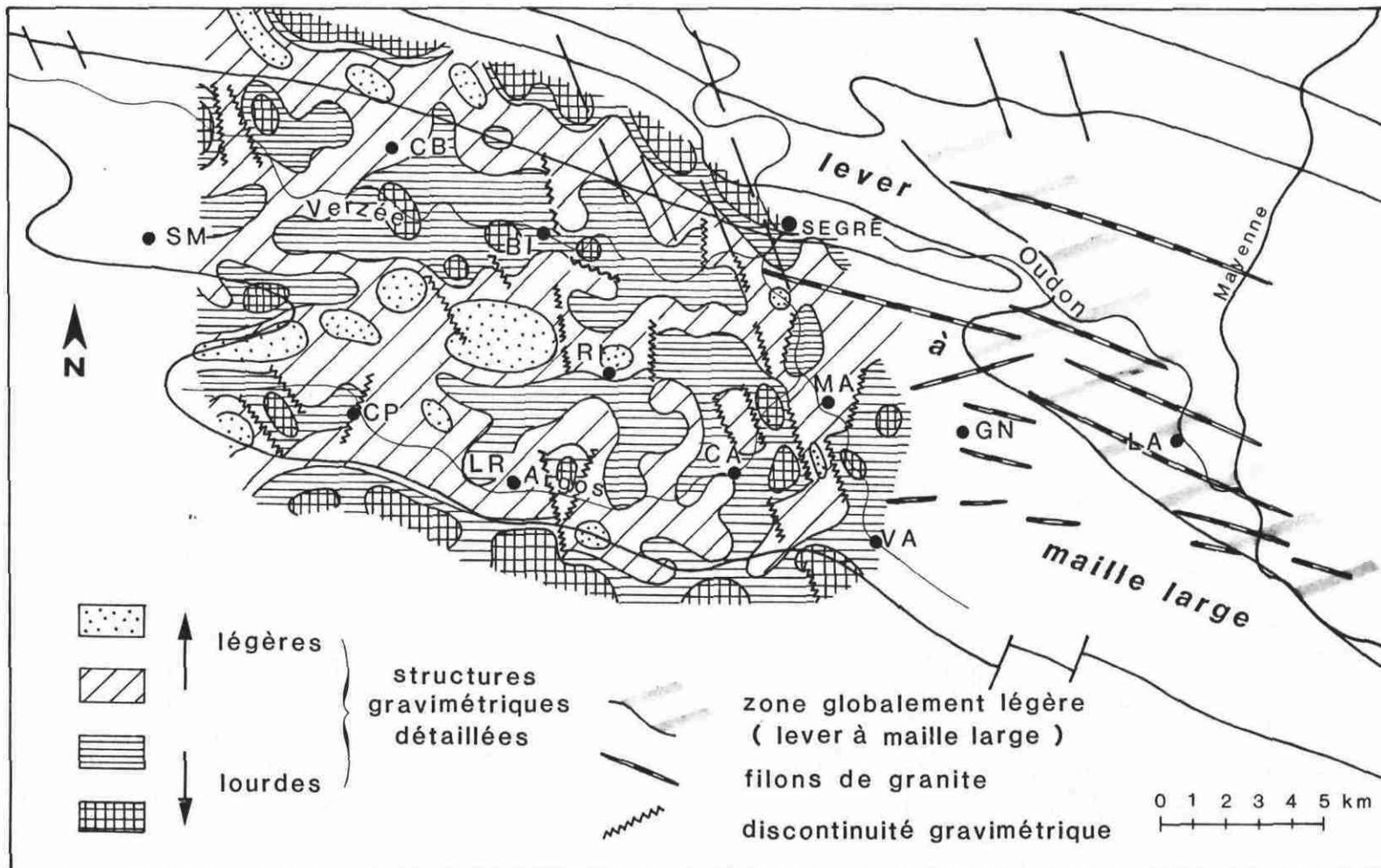


Fig. 8 - Schéma gravimétrique structural de la région de Segré  
 (pour les noms de lieux, voir figure n° 12)

Cependant le schéma gravimétrique structural met aussi en évidence quelques discontinuités transversales et en particulier un faisceau complexe et orienté NNW-SSE, faisant alterner structures légères et structures lourdes, qui coïncide exactement avec le couloir de Segré, au sud de Marans ; ce type d'anomalie transversale suggère une possible structure tectonique, car elle est semblable à celles qui marquent, dans la partie orientale du Massif Armoricaïn, les fossés récents remplis de dépôts meubles. Des perturbations du même type, mais moins bien exprimées, s'observent aussi sur le bord ouest du secteur étudié (régions de Challain la Potherie et St Michel et Chanveaux) au'il est donc pertinent de limiter à cette zone.

*Les caractéristiques géophysiques du domaine briovérien de Segré permettent, dans l'objectif d'un stockage profond, d'écarter la zone est perturbée et de confirmer le caractère homogène favorable de la zone ouest ; entre les deux est mis en évidence un important faisceau de discontinuités correspondant au couloir de Segré.*



III - LES DISCONTINUITES DU BATI

III.1 - ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse statistique réalisée sur le terrain permet sans prendre en compte les grandes failles d'extension régionale de mettre en évidence les différentes familles de fractures qui affectent de manière intime le bâti de la région de Segré, en fonction de leurs attitudes et de leurs orientations (fig. 9).

Le système dominant est constitué par des fractures conjuguées orientées d'une part NNW-SSE (N 150° à N 170°), à jeu dextre et d'autre part NE-SW (N 40° à 60° E), à jeu senestre : il résulte d'une contrainte tectonique principale orientée environ NNE-SSW.

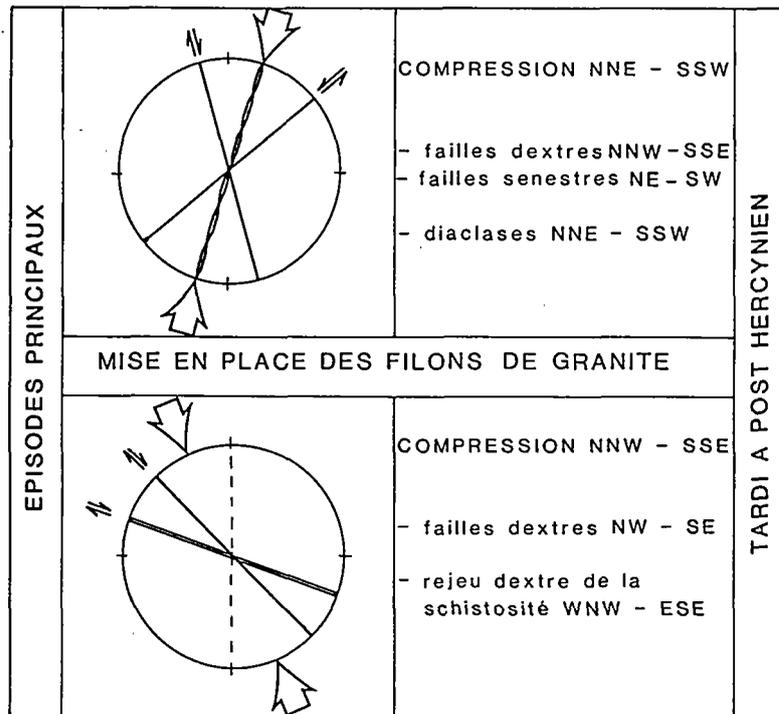


Fig. 9 - Systèmes principaux de fractures de la région de Segré

C'est à ce système dominant qu'appartiennent les failles majeures démontrées par la cartographie ; mais c'est probablement aussi à ce même système que se rapportent les très nombreuses diaclases orientées également NNE-SSW (N 10° à 30° E) qui se manifestent sur les diagrammes de répartition comme la famille la plus fréquente.

D'autres épisodes ont été mis en évidence, qui paraissent moins importants :

- un épisode précoce (par rapport au système dominant) au cours duquel une compression orientée NNW-SSE provoque des failles dextres, orientées NW-SE (N 120° à 140° E), sans conjuguées senestres observables. Ces fractures n'affectent pas les filons et corps de granite.

- deux épisodes tardifs, à caractère subordonné, qui n'ont que fait rejouer des fractures antérieures : les fractures NNE-SSW en failles dextres, associées à une compression environ E-W et les fractures NNW-SSE en failles normales, associées à une distension environ E-W.

D'une manière générale cette étude de terrain montre que l'extension des fractures est limitée (de l'ordre du mètre) et que l'écart moyen entre deux fractures est assez large (quelques mètres). Mais cette étude réalisée en surface, ne prend pas en compte les failles à faibles pendages qui peuvent être importantes (comme dans les ardoisières paléozoïques) mais qui ne pourront être analysées qu'au cours des investigations en profondeur. Notons aussi que ces différents épisodes tectoniques provoquent aussi le rejeu tantôt dextre, tantôt senestre de la schistosité et que les fractures parallèles sont donc prévisibles mais difficiles à mettre en évidence sur le terrain, à part celles qui encaissent les filons de granite qui se trouvent en majorité dans la schistosité.

A part d'éventuels rejeux liés aux épisodes tardifs qui pourraient s'inscrire dans l'évolution tertiaire, voire quaternaire, l'origine de la majorité des fractures est associée à l'évolution structurale hercynienne et l'essentiel de la fracturation affecte le bâti dès le Carbonifère supérieur, à la suite de l'évènement tectono-métamorphique qui affecte les formations briovériennes au Carbonifère inférieur.

*De cette analyse, limitée à la surface, il ressort que, dans la région de Segré, la fracturation s'organise selon un système cohérent, habituel à toute région de socle ayant subi une évolution structurale majeure ; que l'extension limitée et la densité modérée des petites fractures dans les formations silto-argileuses suggèrent entre elles, des connexions relativement discrètes.*

### III.2 - CORRELATIONS - HIERARCHISATION

Outre les discontinuités géologiques et géophysiques déjà mentionnées (fig. 4 et fig. 8), l'étude des images spatiales et l'analyse du terrain permettent d'identifier les fractures principales intéressant la région de Segré, après corrélations entre les différentes techniques utilisées et hiérarchisation des résultats obtenus.

Certaines de ces fractures sont quasiment démontrées lorsqu'elles ont été mises en évidence simultanément par plusieurs techniques et en particulier lorsqu'elles ont été vérifiées sur le terrain. D'autres ne peuvent être considérées que vraisemblables lorsque le contrôle sur le terrain n'apporte que des arguments indirects (morphologiques ou tectoniques). Enfin certains linéaments de télédétection demeurent des discontinuités hypothétiques lorsqu'ils n'ont été argumentés par aucune autre méthode.

Le document synthétique présenté (fig. 10) appelle les remarques suivantes :

- la région est traversée par un important faisceau de fractures orientées NNW-SSE qui est mis en évidence par toutes les méthodes utilisées. En outre l'interprétation géophysique suggère que ce couloir, passant par Segré, peut avoir joué, à une époque récente, en fossé tectonique actif. C'est donc une structure régionale majeure, linéament de fragilité crustale, importante vis à vis du problème de la stabilité actuelle du bâti. A part cette famille de fractures, on observe aussi de bonnes corrélations pour les familles d'orientation NW-SE et NE-SW.

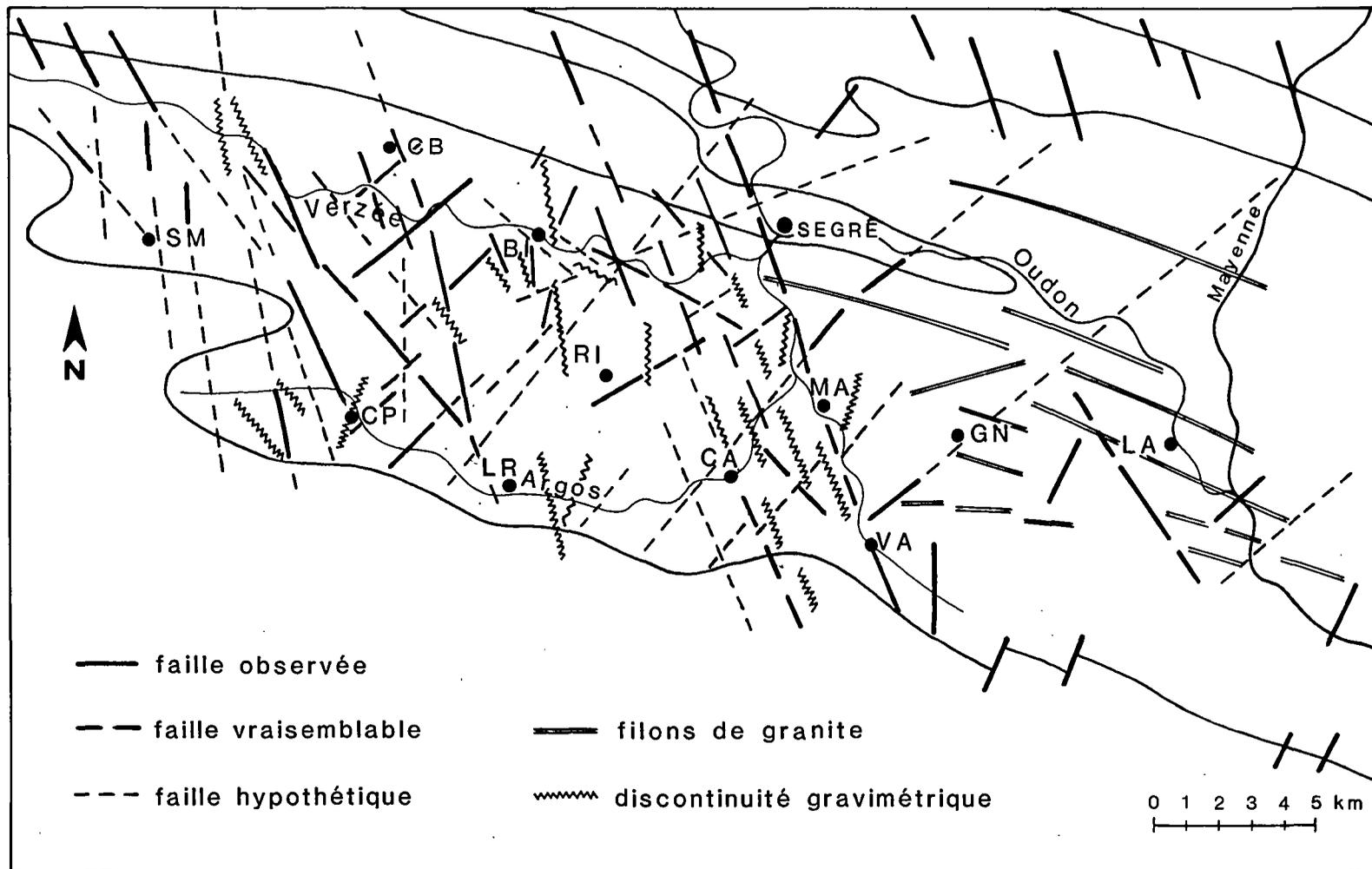


Fig. 10 - Répartition des principales discontinuités géologiques et géophysiques dans la région de Segré (pour les noms de lieux, voir figure n° 12)

- d'une manière globale les parties ouest et est du domaine briovérien, situées de part et d'autre du couloir de Segré, s'opposent sur ce document ; ce résultat doit être modéré car si les filons et corps de granite sont bien localisés, comme on l'a déjà vu, dans la partie orientale, les discontinuités géophysiques ne peuvent être figurées que dans la partie occidentale à laquelle la gravimétrie détaillée a été limitée. D'autre part la différence observée de densité des structures linéaires provient au moins en partie d'une différence de recouvrement superficiel plus important dans la partie orientale que dans la partie occidentale.

- la région est bordée à l'ouest par une zone assez large, marquée par de nombreuses fractures orientées NW-SE à N-S dans laquelle nous avons déjà noté une organisation gravimétrique perturbée. Cette zone coïncide en outre avec le segment central d'un important faisceau de fractures, reconnu dans les formations paléozoïques de part et d'autre du domaine briovérien, à Pouancé au nord et à Candé au sud, orienté N 150° E. Cette zone, sans être aussi clairement exprimée, pourrait donc être une faille crustale majeure du même type que le couloir de Segré.

*Ces résultats obtenus à partir d'approches différentes permettent de déterminer les discontinuités structurales essentielles de cette région et mettent l'accent sur le couloir de Segré, trait majeur à l'écart duquel devra se situer tout projet de stockage profond.*



#### IV - LA STABILITE DU BATI

La région de Segré est localisée dans la partie orientale du Massif Armoricaïn, bloc a priori stable de la plate-forme ouest-européenne. Cette région est située à l'écart du domaine péri-alpin, plus sensible, le la partie sud-est du territoire national et éloignée de plus d'un millier de kilomètres de la marge géodynamiquement active de Méditerranée. Il faut remarquer cependant qu'elle ne se trouve qu'à quelques centaines de kilomètres de la marge passive fossile de l'Atlantique.

Dans ce contexte globalement favorable, l'analyse plus détaillée de la stabilité actuelle du bâti passe par l'étude des témoins et des traces d'éventuels déformations ou mouvements récents, c'est-à-dire liés à des phénomènes tectoniques fondamentaux persistant encore aujourd'hui (l'évolution alpine au sens large) et qui pourraient persister dans un proche avenir (de l'ordre du million d'années).

Ces méthodes d'études indirectes sont de deux ordres :

- étude des marqueurs récents : analyse morphostructurale, analyse des réseaux de drainage et des dépôts sédimentaires récents
- étude des manifestations actuelles : analyse des contraintes tectoniques, des nivellements topographiques et de la sismicité historique.

##### IV.1 - LES MARQUEURS RECENTS

L'analyse critique des surfaces topographiques fossiles et des réseaux hydrographiques actuels, associée à l'étude des dépôts récents, permet de jalonner l'histoire morphologique régionale et de découvrir éventuellement des "anomalies" suggérant des manifestations néotectoniques.

Dans la région de Segré cette analyse couplée à l'étude des images spatiales permet de mettre en évidence trois surfaces, deux couvrant le domaine briovérien, séparées par le couloir de Segré et

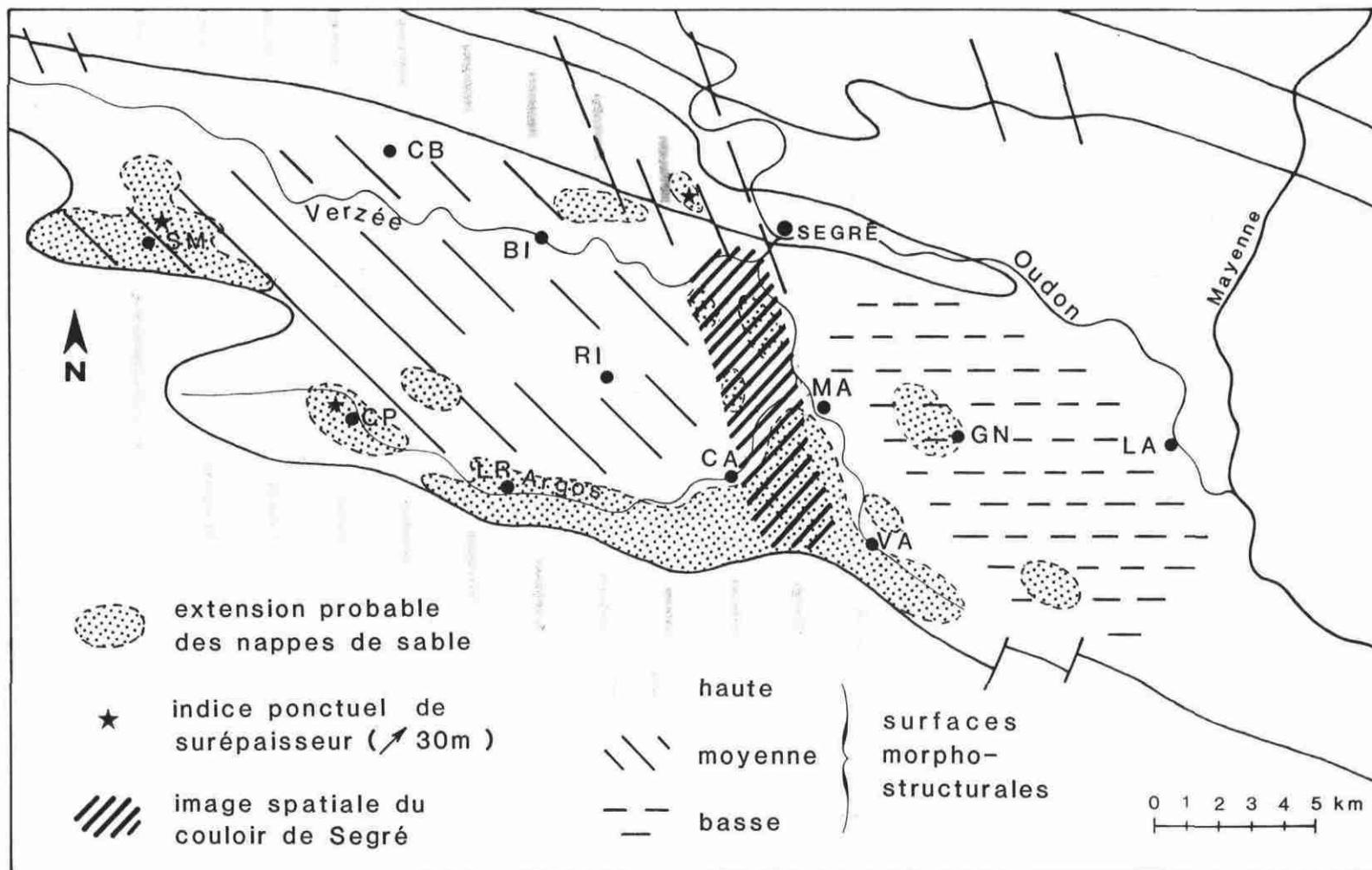


Fig. 11 - Esquisse morphostructurale de la région de Segré  
(pour les noms de lieux, voir figure n° 12)

limitées au nord et au sud par les reliefs de la troisième surface structurale du Paléozoïque (fig. 11)

- *la basse surface* située à l'est du couloir de Segré (zone de Gené) présente une morphologie vallonnée à une altitude assez uniforme entre 40 et 50 m et un réseau de drainage pauvre. Sur cette surface les dépôts récents sont relativement discrets et les altérites largement développées : épaisses de quelques mètres seulement elles forment un manteau continu sur le substrat entaillé par les vallées de l'Oudon et de la Mayenne.

- *la moyenne surface* située à l'ouest du couloir de Segré (zone de Roche d'Iré) apparaît discontinue et composite ; la morphologie y est plus accentuée (armée par les structures perchées des quartzites sommitaux), les altitudes variant entre 50 et 70 m et le réseau de drainage y est plus dense (Verzée, Argos). Cette surface est marquée par des dépôts sableux surtout abondants sur la bordure méridionale, aux pieds des reliefs paléozoïques, où des épaisseurs d'une trentaine de mètres ont été observées\* ; les altérites sont très peu développées sur le substrat briovérien.

- *la haute surface* correspond aux structures paléozoïques régionales qui encadrent le domaine briovérien de la région de Segré. Il ne reste de cette surface que des reliques isolées sur lesquelles les dépôts récents sont absents mais les altérites localement très puissantes.

Cette analyse met l'accent une fois de plus sur le couloir de Segré qui se manifeste très bien sur les images spatiales et qui s'identifie comme la limite entre deux domaines morpho-structuraux différents.

En outre c'est dans la partie sud de ce couloir (au sud de Marans) comme on l'a déjà vu, qu'on observe la coïncidence d'une anomalie gravimétrique légère et d'une nappe de sable, allongées et orientées comme le couloir ; cette coïncidence suggère l'existence d'un petit graben du type de ceux que l'on connaît ailleurs dans la partie orientale du Massif Armoricaïn.

---

\* Ces épaisseurs anormales posent le problème d'une éventuelle subsidence tectonique.

En l'absence de toute donnée sur la structure profonde de ce couloir et sur l'âge des dépôts qui y sont piégés, la signification néotectonique de cette unité demeure hypothétique.

Plusieurs hypothèses peuvent rendre compte de l'existence des deux surfaces et de leurs relations de part et d'autre du couloir : soit elles résultent d'une ancienne surface unique décalée au niveau du couloir, dont le caractère tectonique est alors démontré ; soit elles marquent deux niveaux d'érosion emboîtés dans une surface structurale stable, correspondant à deux cycles marins successifs ; enfin l'hypothèse la plus vraisemblable est que l'activité tectonique régionale est limitée au couloir de Segré et que de part et d'autre aucun mouvement différentiel n'a perturbé le comportement homogène des deux blocs qui sont restés stables l'un par rapport à l'autre au cours de l'évolution récente.

Il faut remarquer que les seules datations disponibles concernent les dépôts (faluns) connus dans les extrémités occidentales (amont de la Verzée) et orientales (rive est de la Mayenne) de la région étudiée ; ces faluns situés à des altitudes semblables (une soixantaine de mètres) sont du même âge, pliocène, ce qui suggère une relative stabilité du bâti depuis l'époque plio-quadernaire.

*L'analyse des marqueurs récents, limitée à la surface dans l'état actuel de l'étude, permet d'identifier les grandes unités morpho-structurales, met l'accent sur le couloir de Segré en tant que zone tectonique sensible, mais ne permet pas d'être totalement assuré de la stabilité du bâti.*

#### IV.2 - MANIFESTATIONS RECENTES ET ACTUELLES

Au cours de l'histoire récente de la plate-forme ouest-européenne, le Massif Armoricaïn s'est comporté comme un bloc rigide et stable, les déformations principales se limitant au rejeu de grandes failles déjà inscrites dans le bâti, héritées de l'histoire antérieure essentiellement hercynienne.

Le régime tectonique régional tel qu'il peut être reconstitué au cours de l'époque plio-quaternaire doit être considéré avec circonspection car les marqueurs récents sont très rares et les données actuelles sur les mesures de contrainte in situ et les mécanismes du foyer des séismes quasiment inexistantes dans le Massif Armoricaïn (Gros et Wyns, 1986).

En se basant sur les quelques résultats disponibles autour du massif on obtient le schéma suivant :

*Au Pliocène* une compression orientée NNW-SSE entraîne l'ouverture des fossés tectoniques formés auparavant (en particulier au cours de la distension ENE-WSW oligocène). Les effets d'une subsidence modérée sont connus dans ces fossés (dépôts pliocènes d'une trentaine de mètres d'épaisseur). Localement, dans la région de Segré, c'est le cas dans le faisceau de fractures qui limite le secteur à l'ouest, à Challain-la-Poterie et St Michel-et-Chanvaux ; c'est peut-être le cas dans le couloir de Segré où une nappe sableuse est notée au sud de Marans et où des accumulations sont reconnues à Segré même (fig. 11)

*Au Quaternaire* les données actuelles indiquent une compression légèrement différente, orientée WNW-ESE. Il est difficile d'argumenter cette rotation de la contrainte tectonique de N 150°E à N 130°E, faible devant la dispersion des mesures. Cependant, régionalement, aucune surépaisseur quaternaire n'a été mise en évidence dans les fossés N 150°E, alors que l'observation de la côte ouest-vendéenne suggère l'existence de bassins actuels, peut être subsidents, orientés N 130°E.

Il semble probable qu'au cours de cette histoire récente des mouvements en décrochement et en affaissement ou en basculement puissent se produire ; au contraire les mouvements en exhaussement ne paraissent pas compatibles avec le régime des contraintes et aucune anomalie reconnue n'implique de mécanisme de ce type. En outre l'extrapolation à un avenir proche des données actuelles ou récentes tendent à montrer que ces mouvements demeureront des phénomènes d'importance subordonnée, de l'ordre de quelques dizaines de mètres pour une période d'un million d'années.

Dans la région de Segré, il ressort des résultats précédents que les failles, démontrées ou hypothétiques, qui ont été mises en évidence, peuvent schématiquement rejouer dans le régime tectonique actuel, de la manière suivante :

- en décrochements, senestres pour les fractures orientées NNW-SSE et dextres pour les directionnelles WNW-ESE

- en extension pour la famille NW-SE et en compression pour la famille NE-SW.

Une évolution du régime tectonique régional ne peut pas être exclue dans l'avenir, mais il est certain que, dans ce laps de temps très court (de l'ordre du million d'année), les variations resteront limitées, tant en amplitude qu'en direction.

*L'étude de la sismicité historique*, qui montre dans cette partie du Massif Armoricaïn, une activité régulière mais modérée, corrobore les résultats précédents : la majorité des séismes semblent associés à des fractures orientées NNW-SSE et WNW-ESE et les quelques solutions focales calculées indiquent des mécanismes parfaitement cohérents avec les types et les sens de mouvement mentionnés ci-dessus.

Un séisme récent (1965), grossièrement situé dans la zone Le Lion d'Angers - Segré - Château-Gontier, confirme l'activité sismique de cette région. Son intensité maximum (magnitude de l'ordre de 5) et sa profondeur probable (une trentaine de kilomètres) montrent que les accidents générateurs de ce séisme sont des failles majeures qui affectent toute l'épaisseur de la croûte ; seules les fractures d'extension importante (plusieurs dizaines à une centaine de kilomètres) orientées NNW-SSE et WNW-ESE peuvent être à l'origine de cette activité sismique.

*L'analyse comparée des nivellements* montre aussi la relative stabilité de cette partie du Massif Armoricaïn. Elle met cependant en évidence des mouvements en "touches de piano" entre des blocs distincts à comportement homogène, limités par des discontinuités qui coïncident avec certains accidents tectoniques NNW-SSE ; mais l'amplitude de ces mouvements reste très faible de l'ordre de quelques centimètres. La région de Segré est ainsi divisée en trois zones séparées par un axe passant par Segré et un autre situé près de Chateaubriant.

- à l'est de l'axe de Segré qui coïncide exactement avec le couloir de Segré, une zone orientale stable, à caractère horizontal, qui

s'étend, semble-t-il, jusqu'à la limite entre le massif ancien et sa couverture sédimentaire ; cette limite étant marquée par une bande active est complexe

- au centre une zone stable dans laquelle se trouve le secteur de Segré ; mais cette zone apparaît légèrement basculée, à pente montante faible depuis le couloir de Segré qui est marqué par une anomalie de nivellement jusqu'à un axe haut situé entre Chateaubriant et le faisceau de Candé - Pouancé

- à l'ouest de cet axe haut une zone occidentale instable qui est marquée par plusieurs anomalies successives qui paraissent coïncider avec le passage des failles bordières du bassin de Rennes ; cette zone semble particulièrement active.

Compte tenu du caractère discontinu des déformations qui fait que les vitesses apparentes sont d'autant plus grandes que les périodes analysées sont plus courtes, les mouvements mis en évidence par cette analyse sont tout à fait cohérents avec les vitesses déduites de l'épaisseur des dépôts récents.

*Le régime tectonique actuel de la région de Segré semble pouvoir provoquer dans le bâti des mouvements accidentels, comme le montrent l'activité sismique et les anomalies de nivellement. Mais ces mouvements resteront localisés sur des fractures déjà exprimées et limités à des amplitudes faibles devant les profondeurs envisagées. Ces perturbations demeureront donc très probablement des phénomènes subordonnés sans conséquences catastrophiques.*

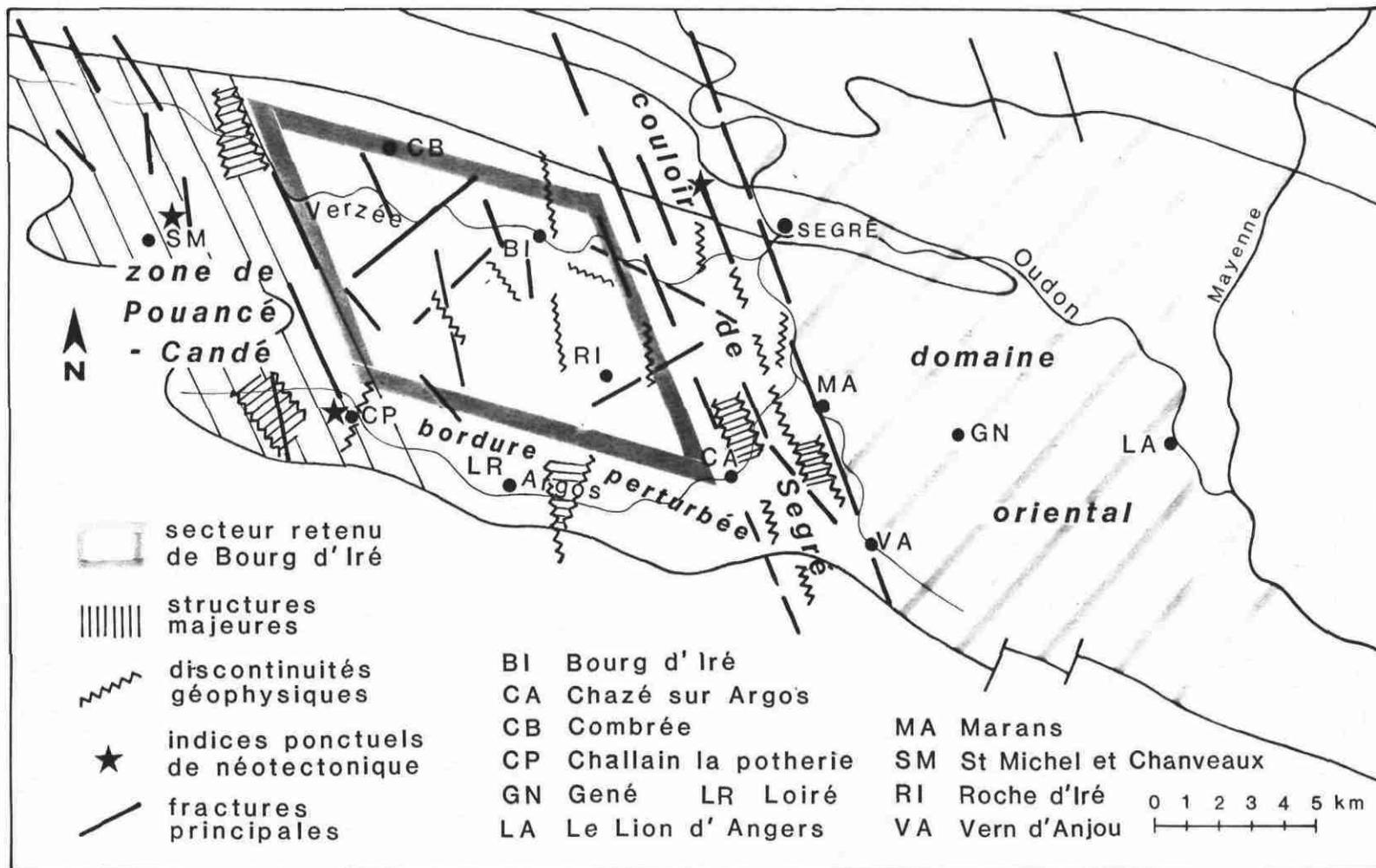


Fig. 12 - Situation du secteur retenu dans la région de Segré

V - CONCLUSION

Les études réalisées dans la région de Segré, région présélectionnée au cours de l'inventaire des formations schisteuses appropriées à l'implantation de stockages profonds, tendent à confirmer, de manière globale, le caractère favorable des formations briovériennes régionales.

Les divers travaux ont permis de reconnaître l'organisation lithologique et structurale du bâti, d'identifier les principales discontinuités qui l'affectent et de mettre en évidence quelques éléments marqueurs de sa stabilité.

Ces travaux conduisent à privilégier la partie ouest de la région étudiée et particulièrement, par élimination successive des perturbations les plus importantes quelque soient leurs origines ou leurs natures, à retenir le secteur centré sur le Bourg d'Iré (fig. 12).

Dans ce secteur les formations briovériennes de nature silto-argileuse présentent une lithologie homogène et une structure plissée simple qui permet d'extrapoler avec une assez bonne fiabilité les observations superficielles en profondeur ; cependant ces formations schisteuses possèdent un caractère anisotrope intrinsèque qui rend difficile la connaissance approfondie du bâti local.

Ce secteur ne montre que quelques discontinuités tectoniques ou géophysiques, mais il est bordé à l'est et à l'ouest par des couloirs de failles majeures qui pourraient limiter des fossés tectoniques actifs, masqués par des nappes sableuses ; ces dépôts récents s'étendent aussi largement sur sa bordure méridionale où s'observent quelques perturbations géophysiques.

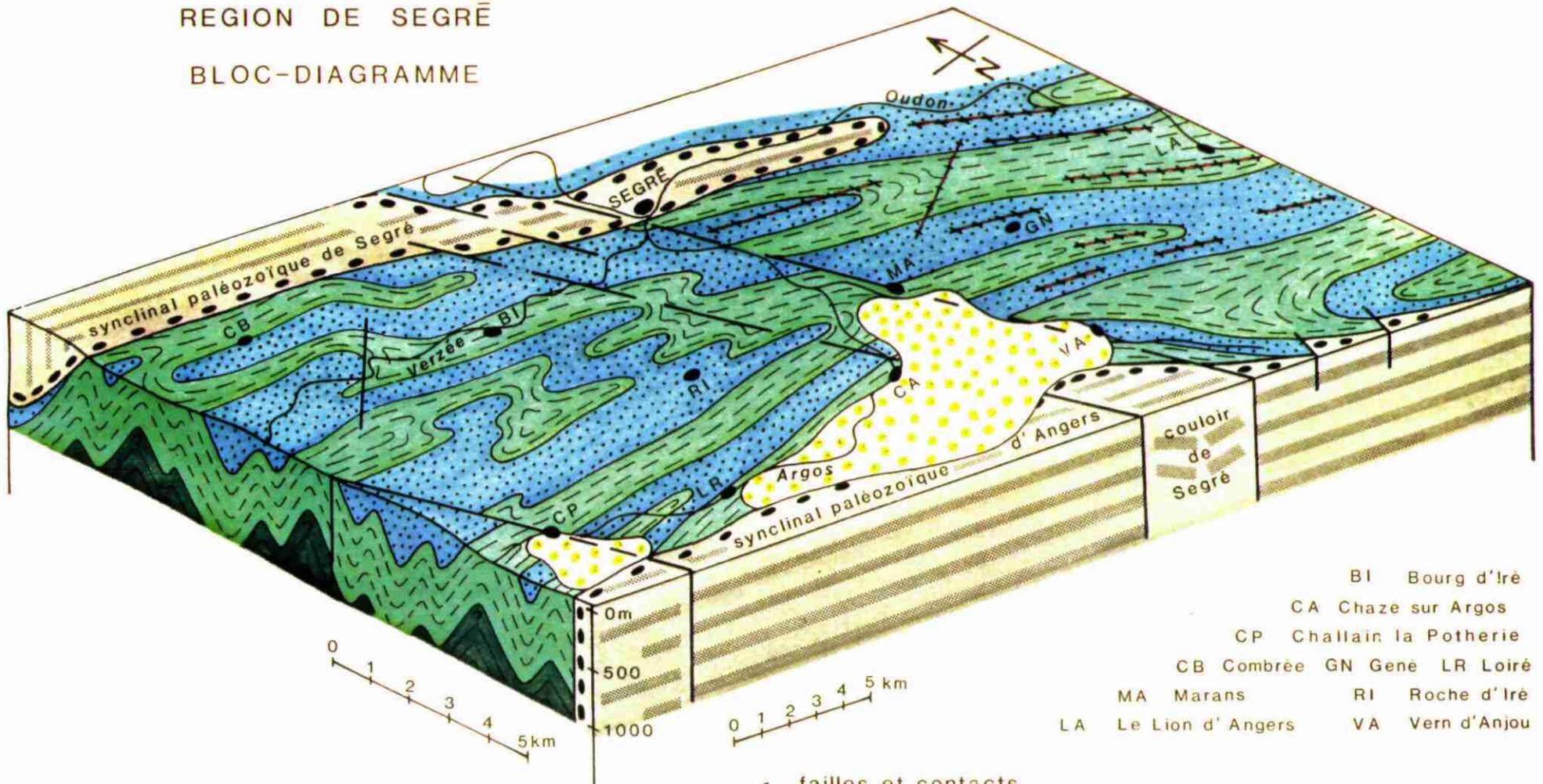
Ces failles et ces dépôts sont les marqueurs d'une activité tectonique récente et persistant encore aujourd'hui comme le montre l'activité sismique actuelle, mais l'étude de ces marqueurs montre que cette activité est très modérée. La persistance probable de cette activité dans un proche avenir (million d'années) ne devrait pas provoquer de perturbations plus importantes que celles observées dans le passé récent, qui sont localisées

sur des lignes de fragilité crustale déjà inscrites dans le bâti. Cela dit, il est très difficile sinon impossible, dans l'état actuel de l'étude, de se rendre compte des conséquences de ces perturbations sur les circulations hydrauliques et il est clair que ces investigations sont maintenant indispensables.

L'objectif des études à mener dans les trois années à venir sera de mettre en évidence un bloc de ce bâti homogène aux plans géologique, hydrogéologique et géotechnique, après avoir déterminé les caractéristiques hydrauliques essentielles et le potentiel de rétention des radionucléides dans les formations briovériennes régionales.

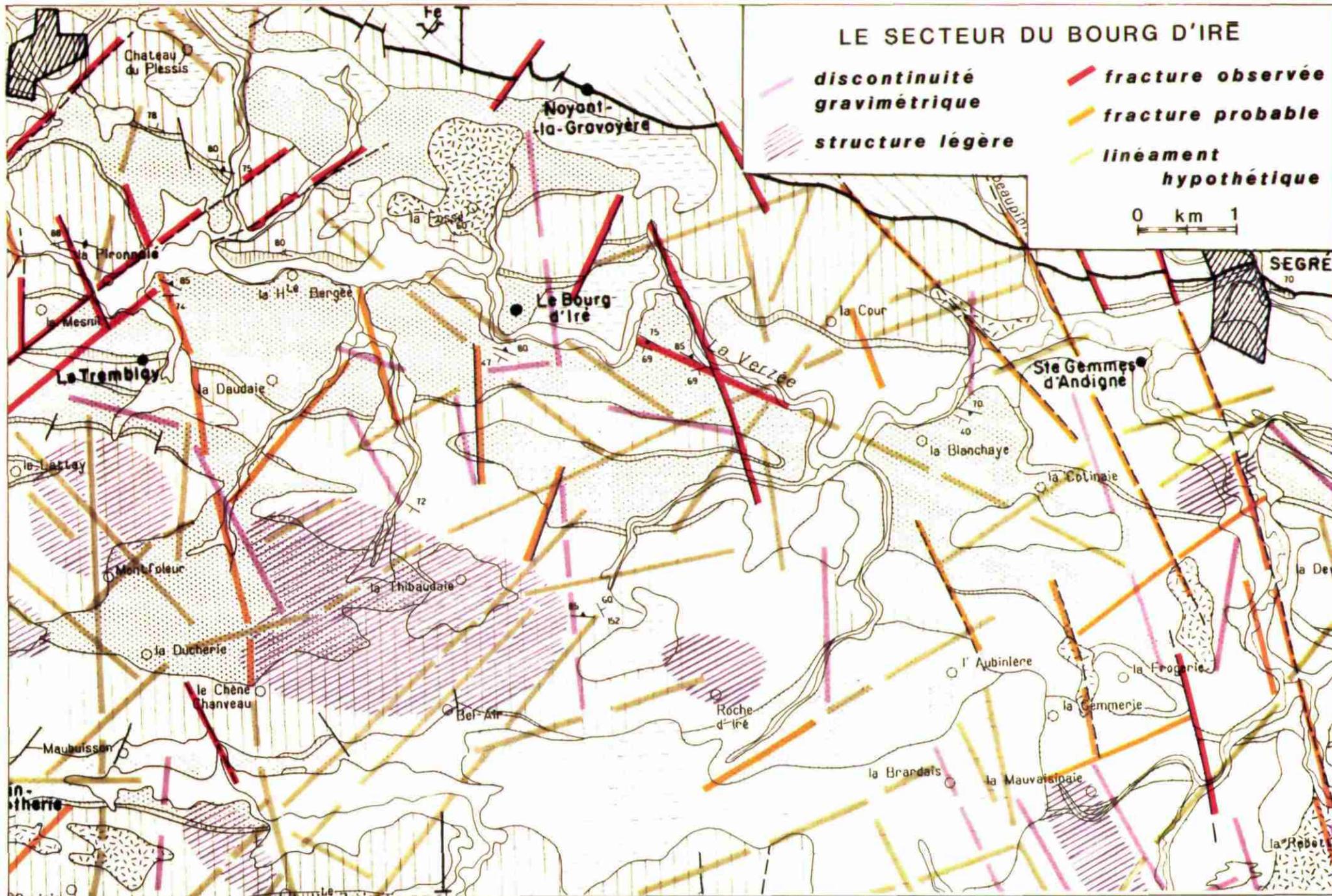
PLANCHES HORS TEXTE (pages suivantes) : Bloc diagramme schématique de la région de Segré et carte à 1/50 000 du secteur du Bourg d'Iré.

REGION DE SEGRÉ  
BLOC-DIAGRAMME



- BI Bourg d'Irè
- CA Chaze sur Argos
- CP Challain la Potherie
- CB Combrée GN Gené LR Loire
- MA Marans RI Roche d'Irè
- LA Le Lion d'Angers VA Vern d'Anjou

<p>quartzites sommitaux siltites massives alternances silto-argileuses</p>	<p>formations briovériennes</p>	<p>failles et contacts majeurs filons de granite</p>	<p>formations superficielles plio-quaternaires formations paléozoïques indifférenciées</p>
--	---------------------------------	--	--



## REFERENCES

AUTRAN A., CHANTRAINE J., FEYBESSE J.L., GUERANGE B., HOTTIN A.M.,  
MINOUX L., RABU D., 1982 - Sélection sur documents de formations  
métamorphiques de type schistes et gneiss  
Rapport B.R.G.M. 82 SGN 1042 GEO

CHANTRAINE J., CHAUVEL J.J., DUPRET L., GATINOT F., ICART J.C.,  
LE CORRE C., RABU D., SAUVAN P., VILLEY M., 1983 - Inventaire lithologique  
et structural du Briovérien (protérozoïque supérieur) de la Bretagne  
centrale et du Bocage normand  
Document B.R.G.M. n° 67

GUERANGE J., GUERANGE B., CHEVREMONT P., CORPEL J., DEBEGLIA N., MARTIN P.,  
SCANVIC J.Y., ETIENNE H., SEGUIN J.J., COTTEZ S., 1984 - Stockage de  
déchets radioactifs en formations géologiques - Région de Château-Gontier -  
Synthèse  
Rapport B.R.G.M. 84 SGN 067 GEO

GROS Y., 1986 - Champ actuel des contraintes tectoniques dans le Massif  
armoricain et évolution dans le million d'années à venir, in : Etude  
géoprospective du Massif Armoricaïn  
Rapport B.R.G.M. en préparation

WYNS R., 1986 - Evolution tectonique de la partie Sud-Est du Massif Armoricaïn  
au Plio-Quaternaire et dans le million d'années à venir, in : Etude  
géoprospective du Massif Arm.oricain  
Rapport B.R.G.M. en préparation

