



BRGM

schistes de Segré (Maine-et-Loire)

confirmation des caractéristiques favorables (2^e phase)

choix d'une stratégie d'acquisition des données





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

schistes de Segré (Maine-et-Loire)

confirmation des caractéristiques favorables (2^e phase)
choix d'une stratégie d'acquisition des données

G. Aubertin
J.-M. Thouvenin*
J. Chantraine

*ANDRA/DESI

février 1987
87 SGN 112 STO

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Stockages
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: 38.64.34.34

SOMMAIRE

	Pages
I- INTRODUCTION	1
II- CADRE GEOGRAPHIQUE	3
III- CONTEXTE GEOLOGIQUE	6
IV- DEFINITION DE ZONES D'ETUDES ET D'OBJECTIFS IMMEDIATS MOTIVANT LE PROGRAMME DE TRAVAUX	11
IV.1 - compréhension du contexte géologique du site	11
IV.2 - Compréhension du fonctionnement hydrogéologique du site	15
IV.3 - Compréhension du fonctionnement géochimique du site	21
IV.4 - Impact de l'évolution géologique du site	24
IV.5 - Impact du stockage	26
IV.6 - Implantation, conception et dimensionnement des ouvrages souterrains	27
V- STRATEGIE D'ETUDE DU SITE	28
V.1 - Les zones peu fracturées	28
V.2 - Les zones de grandes failles	31
V.3 - La nappe aquifère superficielle	32
V.4 - Reconnaissances à l'échelle du massif	32
VI- PLANNING GENERAL DES TRAVAUX	32
VII- IMPLANTATION PREVISIONNELLE DES PRINCIPAUX TRAVAUX	32

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 - Carte de situation générale
- Figure 2 - Situation du secteur retenu dans la région de SEGRE
- Figure 3 - Esquisse géologique régionale
- Figure 4 - Série lithologique du Briovérien
- Figure 5 - Coupe géologique
- Figure 6 - Contribution des travaux de géologie aux autres thèmes d'études
- Figure 7 - Techniques à mettre en oeuvre pour la caractérisation géologique du site
- Figure 8 - Bassins versants hydrologiques
- Figure 9 - Distribution des charges hydrauliques dans un bâti schisteux
- Figure 10 - Objectifs de la reconnaissance hydrogéologique
- Figure 11 - Objectifs de la caractérisation géochimique du site
- Figure 12 - Position structurale des forages projetés
- Figure 13 - Planning prévisionnel des opérations
- Figure 14 - Implantation prévisionnelle des principaux travaux

PREAMBULE

Certains déchets radioactifs ont une nuisance potentielle qui peut subsister sur des durées excédant mille ans et même atteindre plusieurs centaines de milliers d'années. Il convient, pour la gestion de ces déchets de haute activité, de les isoler de l'environnement humain le plus longtemps possible pour bénéficier de la diminution d'activité par décroissance naturelle. Si cet isolement venait à être rompu, il faut limiter, retarder et diluer la quantité des substances radioactives qui pourraient atteindre la biosphère.

Les principes de l'enfouissement des déchets radioactifs de haute activité en formations géologiques profondes et de l'isolement des déchets au sein de matériaux étanches, sont des solutions qui doivent satisfaire aux conditions de protection de l'environnement énoncées précédemment. La barrière géologique devra ainsi protéger les colis contenant les substances radioactives, les mettre à l'abri de l'eau et en cas de rupture, limiter, retarder et diluer les transferts vers la biosphère.

L'ANDRA conduit un important programme dont l'objectif est d'identifier un site susceptible d'être retenu pour la construction, dans un premier temps, d'un laboratoire souterrain puis d'un stockage industriel. Dans le laboratoire souterrain seraient réalisés des travaux de qualification, des milieux géologiques et des procédures industrielles.

Plusieurs types de formations sont susceptibles de remplir les fonctions de barrière géologique. Il s'agit, en particulier :

- des roches granitiques,
- des formations argileuses,
- des formations salifères en couches,
- des formations schisteuses.

Un ou deux sites par type de formations géologiques ont été retenus sur le territoire national à l'issue d'une phase de présélection.

Le site de schistes de Segré (département du Maine-et-Loire) est l'un d'eux. Des études (essentiellement levés géologiques de surface et études documentaires) effectuées sur ce site ont confirmé son intérêt. Ces études constituent les travaux de confirmation des caractéristiques favorables de 1ère phase.

Le présent rapport effectué par l'ANDRA et le BRGM expose la stratégie d'acquisition des données à mettre en oeuvre sur le site de Segré. Cette stratégie est la base de l'élaboration du programme détaillé des travaux de confirmation des caractéristiques favorables des schistes de Segré.

I - INTRODUCTION

L'intérêt des formations de schistes de la région de Segré pour le stockage des déchets radioactifs de haute activité s'est affirmé tout au long du processus de réflexion mené sur ce thème depuis les phases générales d'inventaire de sites potentiellement adéquats jusqu'aux études documentaires de confirmation des caractéristiques favorables.

Les objectifs généraux de la deuxième phase des travaux de confirmation des caractéristiques favorables des schistes de Segré sont :

- de confirmer l'absence d'éléments mettant en cause la sûreté et la faisabilité du stockage à l'aplomb du secteur retenu,
- de recueillir les éléments nécessaires à l'établissement d'un rapport de faisabilité pour la construction d'un laboratoire souterrain. Ce laboratoire serait construit dans une phase ultérieure pour préciser les analyses de sûreté et qualifier les procédures industrielles qui seraient à mettre en oeuvre pour le stockage définitif.

Pour répondre aux objectifs de sûreté, il est nécessaire d'évaluer par l'indéterminé d'un modèle numérique, les doses de radionucléides transmises depuis le futur centre de stockage vers la biosphère. Cette évaluation implique le recueil de données concernant trois grands thèmes d'études :

- caractérisation géologique, hydrogéologique et géochimique de l'état actuel du site,
- appréhension des modifications de l'état actuel induites soit par le stockage, soit par l'évolution géologique (sismotectonique, géodynamique, climatique) du site, soit enfin par des scénarios accidentels,
- appréhension des phénomènes de migration des radioéléments au travers de la barrière géologique.

Pour répondre aux objectifs de faisabilité du laboratoire, les travaux devront, en outre, permettre :

- de recueillir les éléments nécessaires à la conception et au dimensionnement du laboratoire souterrain,
- de recueillir les éléments préliminaires nécessaires à la conception et au dimensionnement du stockage.

La démarche adoptée pour établir une stratégie de reconnaissance du site et un programme de travaux correspondant consiste en :

- une analyse spécifique au site, des différents thèmes d'étude conduisant à la définition d'objectifs immédiats et de zones d'études,
- un choix d'un volume de travaux, d'essais et d'études sur le site et en laboratoire adapté à chaque objectif et en particulier à l'appréhension de la variabilité des paramètres concernés.

Ce dernier point est particulièrement important dans le cas des schistes où l'on a affaire à une série lithologiquement hétérogène affectée d'une structuration souple.

Cette stratégie et le programme de travaux correspondant sont proposés sur la base des connaissances actuellement disponibles sur le site et seront réajustés au fur et à mesure de leur déroulement, en fonction des résultats acquis.

Après une présentation géographique sommaire du site et un rappel de son contexte géologique, les objectifs immédiats motivant le programme de travaux et l'extension des zones d'études sont proposés. La stratégie générale de reconnaissance du site, le récapitulatif des travaux à entreprendre et le planning prévisionnel des opérations sont exposés.

II - CADRE GEOGAPHIQUE

Les formations schisteuses sont largement représentées dans le Massif Armoricaïn. Les schistes étudiés dans le cadre du présent travail sont situés dans la région de Segré (Maine-et-Loire) au coeur d'un triangle constitué par les agglomérations de Laval Nantes et Angers (Fig. 1).

Les études menées sur les schistes de la région de Segré ont conduit à retenir un secteur favorable (fig. 2) d'une superficie voisine de 72 km².

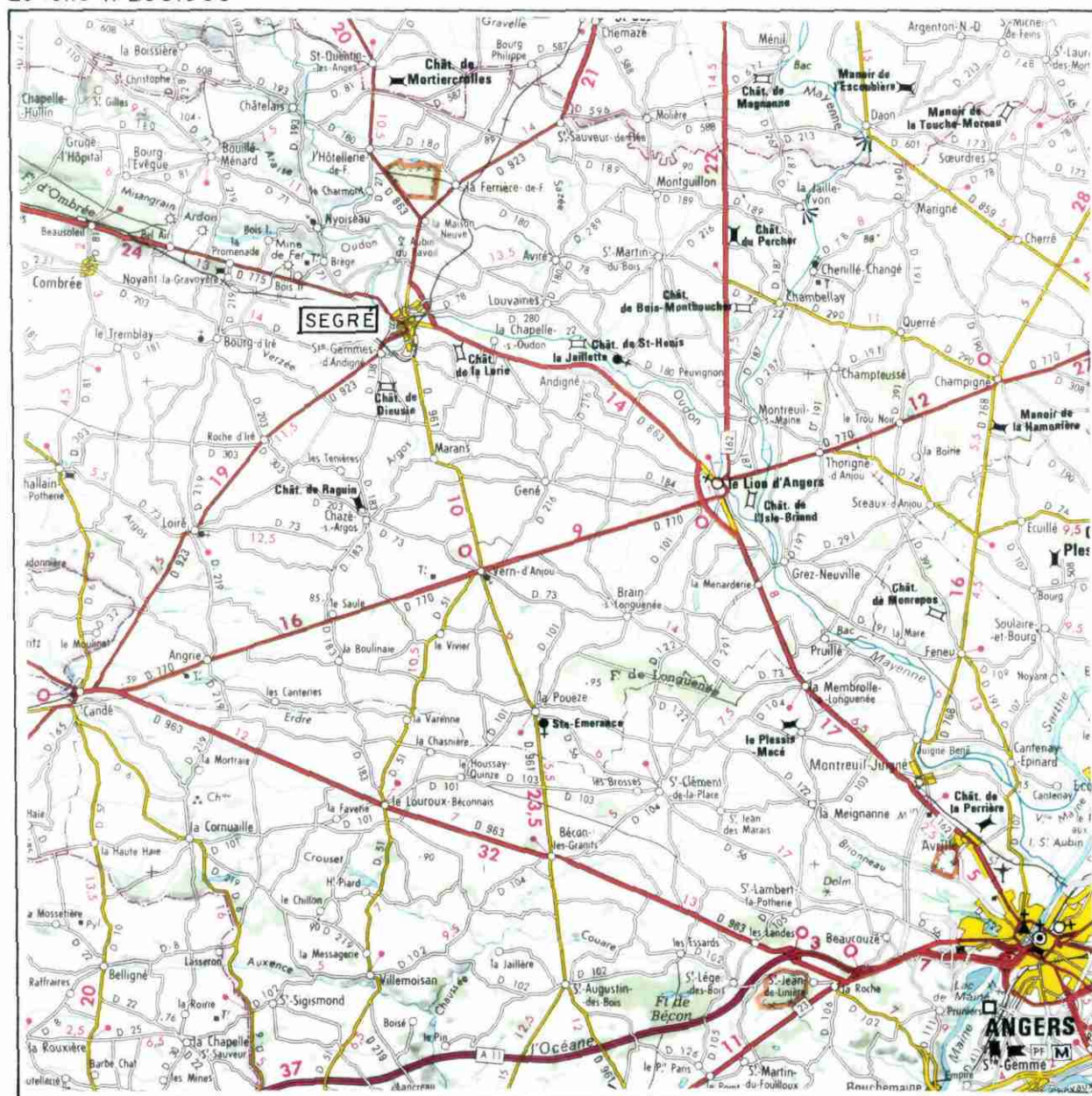
Le centre de ce secteur se trouve à une dizaine de kilomètres à l'ouest du bourg de Segré. il est traversé d'ouest en est par une rivière appelée la Verzée.

SCHISTES DE SEGRÉ

ANDRA

CARTE DE SITUATION GÉNÉRALE

Echelle 1/250.000



extrait de la carte I.G.N n°106 série rouge

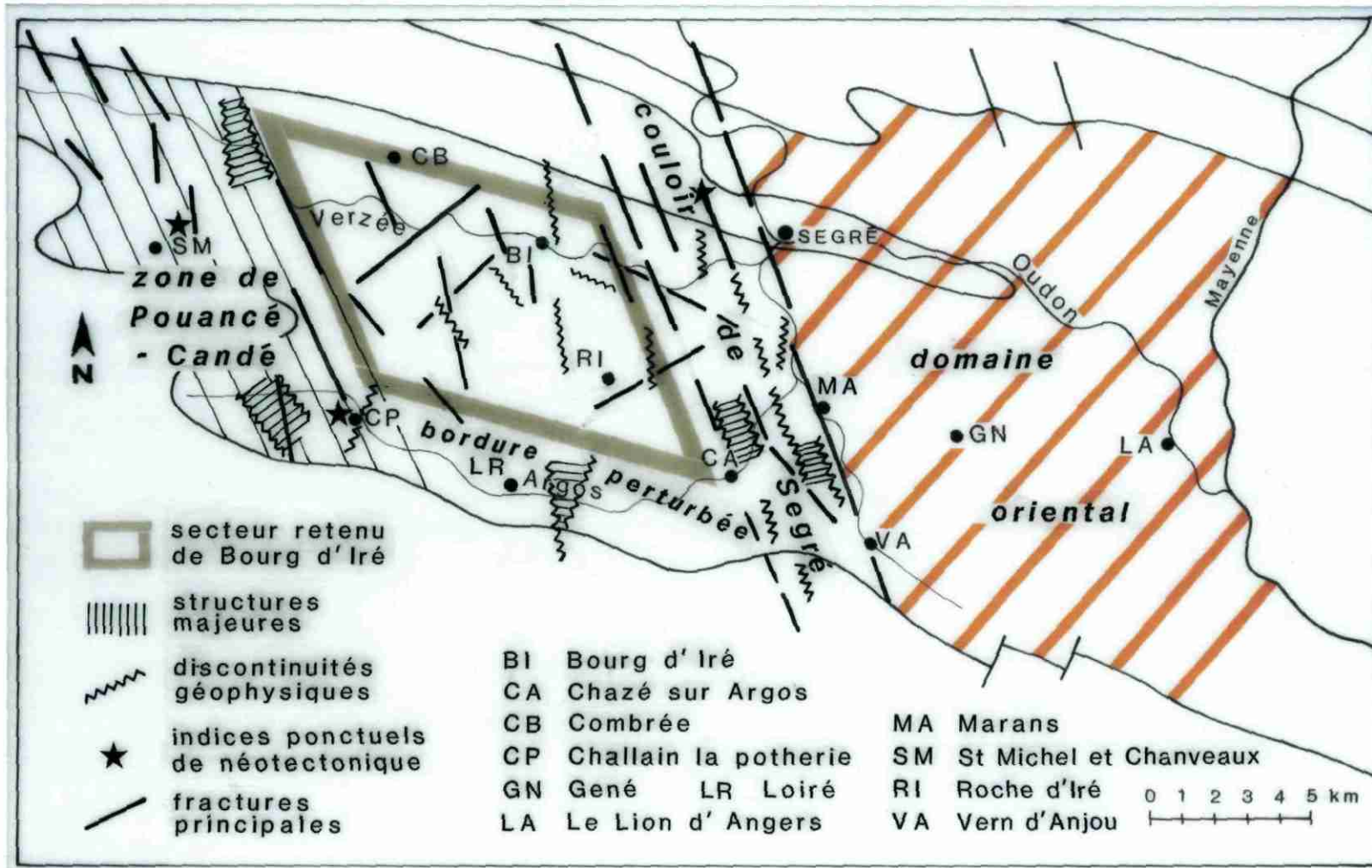


Fig. 2 - Situation du secteur retenu dans la région de Segré

III - CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les formations géologiques de la région de Segré font partie de l'ensemble briovérien de Bretagne centrale (fig. 3) qui présente des caractères lithologiques et structuraux considérés comme favorables à l'implantation d'un site de stockage de déchets nucléaires.

La série biovérienne dont l'épaisseur est inconnue mais estimée à 1 500 m au minimum, comprend de la base au sommet (fig. 4) :

- une partie basale de wackes massives
- une formation d'alternances silto-argileuses
- une formation de siltites massives
- un horizon sommital de quartzites.

A l'exception des parties basale et sommitale, le Briovérien est donc constitué essentiellement de siltites argileuses plus ou moins carbonatées, se présentant soit en formations homogènes soit en alternances marquées par la variation des proportions respectives de quartz et de phyllites (argiles, muscovite, chlorite), depuis un rapport 30/70 jusqu'à un rapport 70/30.

Cette série, affectée par un métamorphisme de très faible intensité, doit avoir un comportement mécanique plus souple que les granites et doit former une enveloppe très peu perméable, favorable à un site de stockage profond.

Contrairement à la région de Château Gontier où la majeure partie de la série briovérienne est reconnue, seules les formations de la partie haute de la série affleurent dans la région de Segré (fig. 4) ; mais tout porte à croire que, dans cette région, la série est complète et identique et qu'il existe en profondeur une formation favorable épaisse d'un millier de mètres environ.

La série briovérienne est affectée de plis souples, droits et ouverts (fig. 5) associés à une schistosité verticale qui correspond dans les formations silto-argileuses à la surface d'anisotropie principale ; elle est orientée environ N 110°E. Ces plissements font affleurer les divers niveaux de la série selon des structures orientées W.NW-E.SE alternativement anticlinales et synclinales.

La fracturation régionale se manifeste essentiellement par des faisceaux de grandes failles crustales N 150° à 170°E, séparées par des panneaux d'une dizaine de kilomètres relativement peu fracturés où dominent les fractures conjuguées N 20° à 30°E, associées à d'autres linéaments subordonnés.

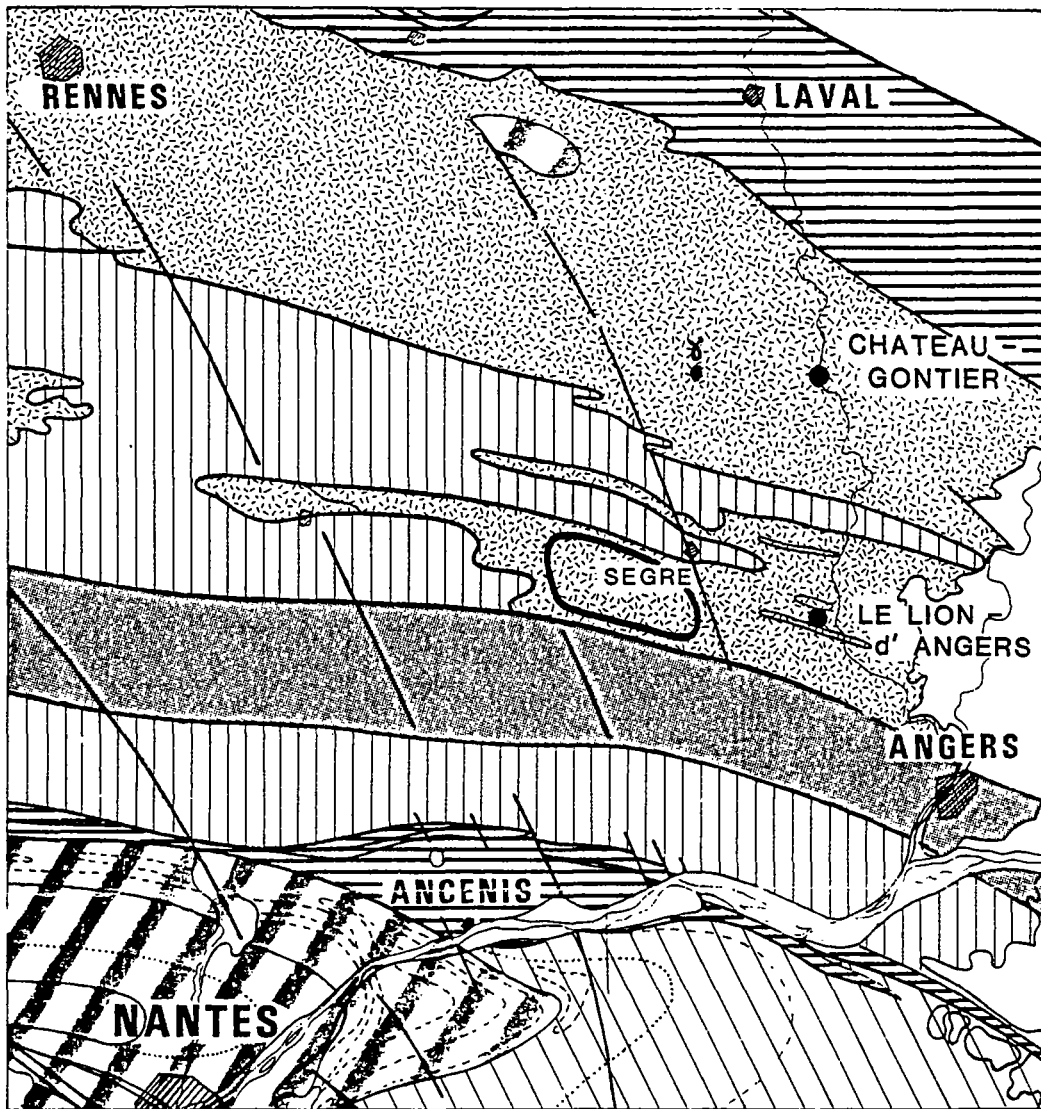
Les caractéristiques géophysiques et en particulier gravimétriques de la région de Segré tendent à montrer enfin, que le bâti est relativement homogène et qu'on est donc en droit d'extrapoler en profondeur les caractères lithologiques et structuraux identifiés en surface dans le Briovérien ; cette extrapolation demeure hypothétique.

Le secteur retenu comme favorable est situé au sud-ouest de Segré, en dehors des principales perturbations structurales qui ont pu être mises en évidence :

- les filons de granite existant dans la partie orientale de la zone (à l'est de Segré) et qui sont en outre associés à une structuration plus intense dans le coin sud-est
- le couloir de failles orienté N.NW-S.SE passant par Segré, auquel peut être lié une activité tectonique et/ou sismique actuelle ou récente
- le faisceau de fractures parallèle au précédent mais moins bien individualisé, localisé en limite ouest de la zone entre Candé et Pouancé
- la bordure méridionale de la zone qui correspond à l'anomalie structurale des Landes de Lanvaux, trait varisque majeur du Massif Armoricain.

Les investigations préliminaires effectuées pour caractériser la stabilité du bâti local tendent à montrer le rôle majeur joué par le couloir de Segré mais suggèrent un comportement homogène du bâti de part et d'autre de ce couloir. Ce résultat confirme donc le caractère favorable du secteur retenu, limité à la zone sud-ouest de Segré.

FIG.3 ESQUISSE GÉOLOGIQUE RÉGIONALE



0 10 20km



Secteur retenu

BRIOVERIEN

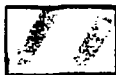


Micaschistes des Mauges



Schistes de Bretagne Centrale

AUTRES TERRAINS



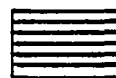
Granitoïdes et roches métamorphiques



Schistes et grès paléozoïques



Axe structural de Lanvaux



Bassins de Laval et d'Ancenis

FIG 4 . SÉRIE LITHOLOGIQUE DU BRIOVÉRIEN

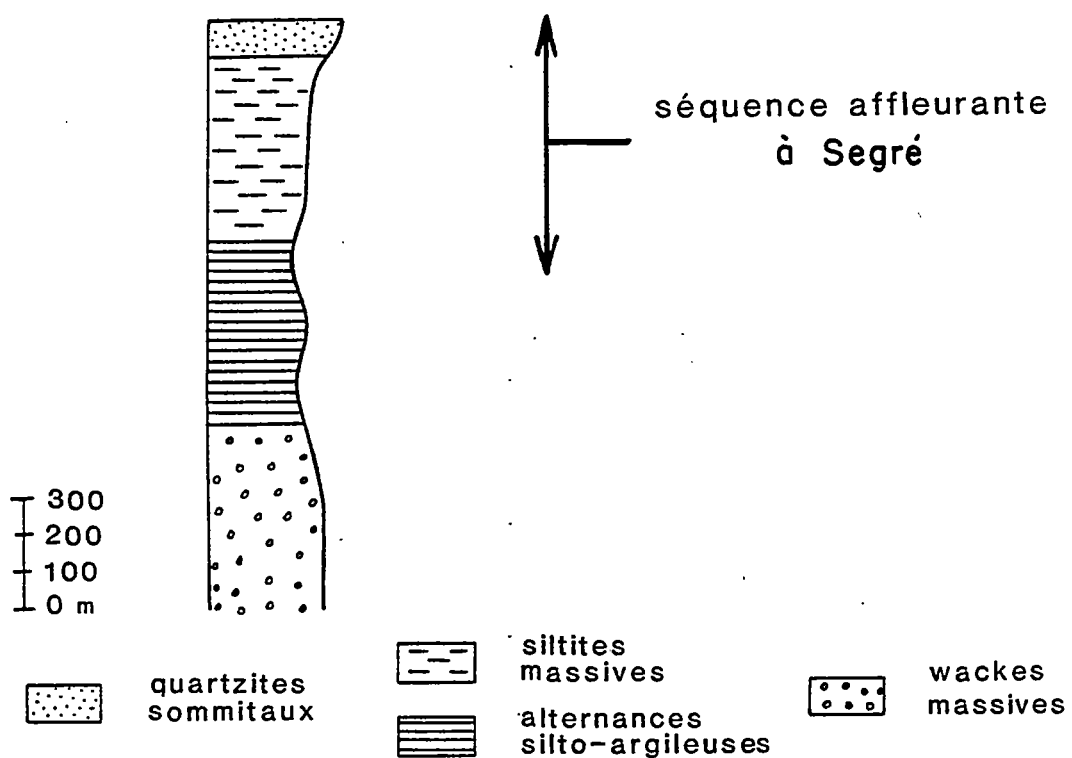
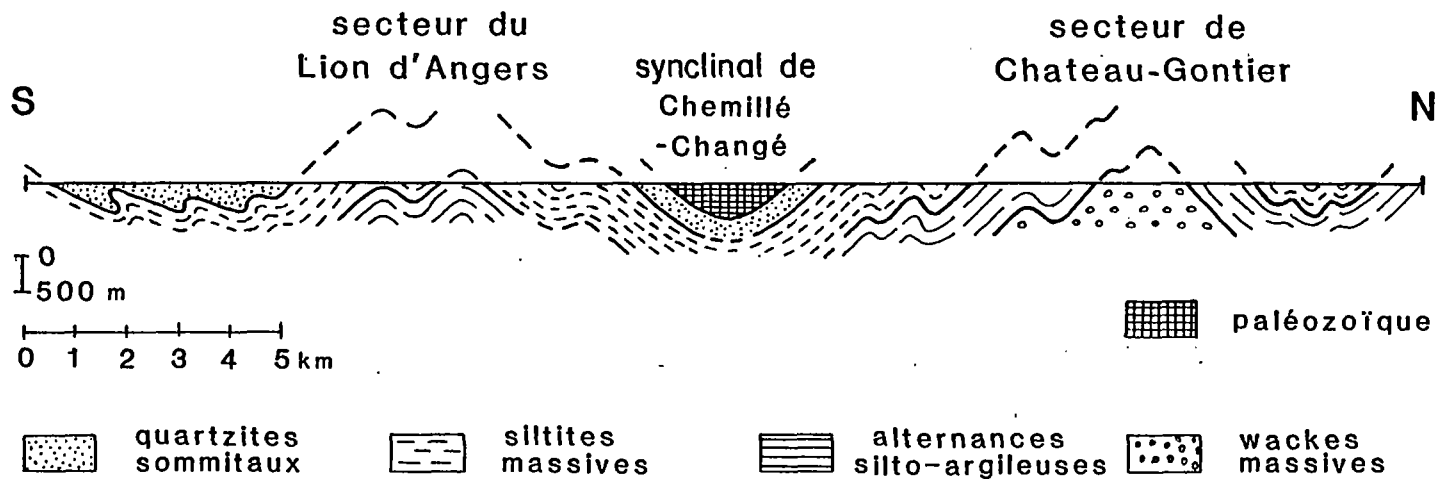


FIG.5-COUCPE GÉOLOGIQUE



IV - DEFINITION DE ZONES D'ETUDES ET D'OBJECTIFS IMMEDIATS MOTIVANT LE PROGRAMME DE TRAVAUX

Les travaux à entreprendre peuvent être regroupés autour de plusieurs thèmes :

- . la géologie
- . l'hydrogéologie
- . la géochimie
- . l'évolution géologique (prospective)
- . l'impact du stockage
- . la conception et le dimensionnement des ouvrages souterrains.

Pour chacun de ces thèmes, il est nécessaire d'acquérir des données, au moyen de techniques appropriées. Ces techniques sont à mettre en oeuvre sur des zones d'extension adaptées aux questions posées.

Pour chacun de ces thèmes sont précisés :

- les objectifs propres,
- la liste des données à recueillir,
- l'état des connaissances sur ces données,
- l'extension des zones d'investigation;
- les techniques à mettre en oeuvre pour l'acquisition des données.

IV.1 - Compréhension du contexte géologique du site

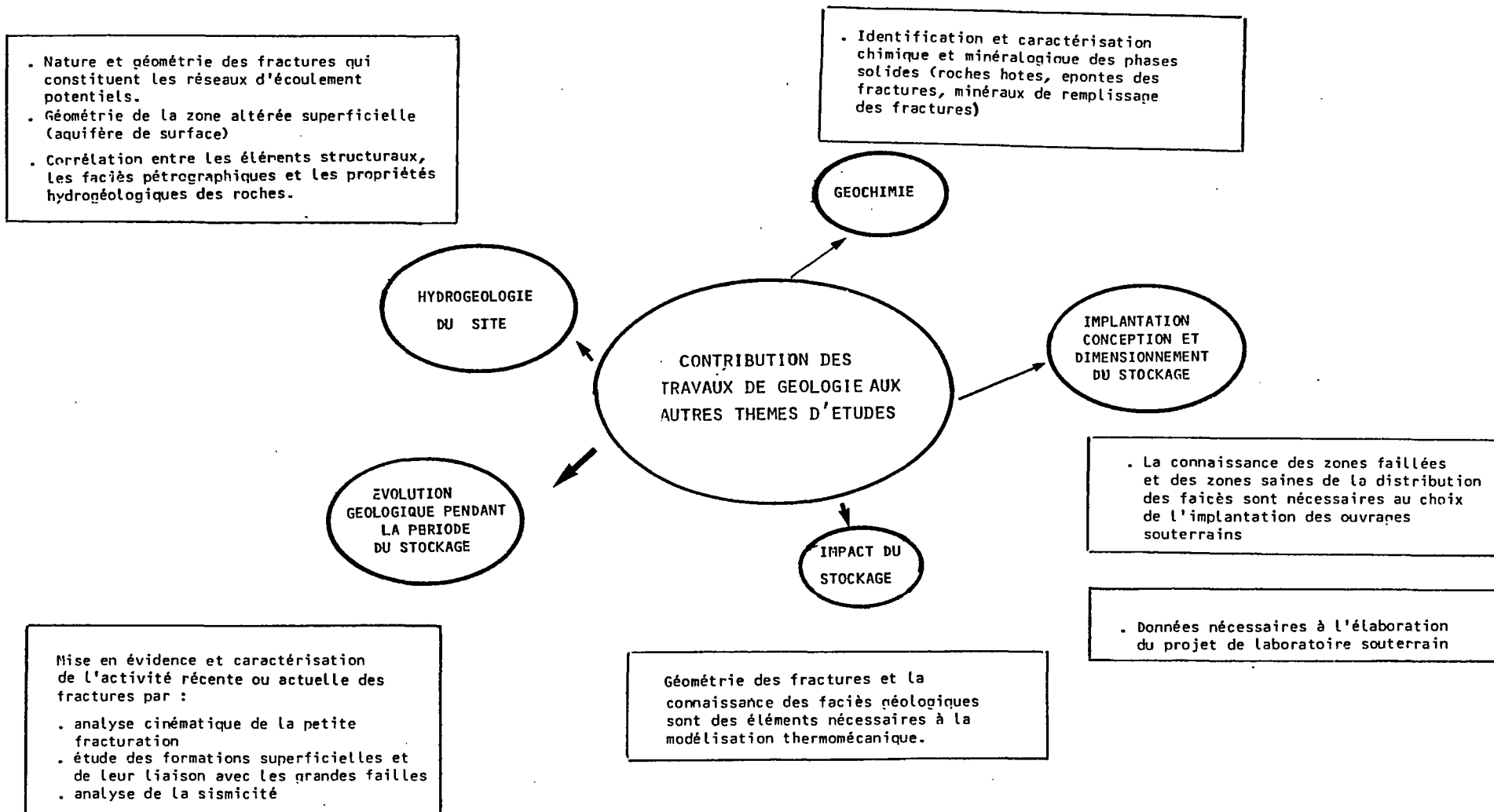
IV.1.1 - Intérêt

La compréhension de la géologie du site est un intermédiaire obligatoire pour l'étude de tous les thèmes (fig. 6).

IV.1.2 - Données à recueillir

Ce sont :

- l'étude de la série lithologique et de sa variabilité dans l'espace. Caractérisation pétrographique des différents faciès qui constituent la série, des faciès d'altération,
- la compréhension des structures souples qui affectent le secteur (identification, géométrie),
- la localisation, la géométrie, la morphologie du réseau des grandes failles qui peuvent affecter le secteur ; identification des faciès d'altération et des minéraux de remplissage des fractures,
- la localisation, la géométrie, la morphologie, la densité et la cinématique de la petite fracturation,
- la géométrie, la nature et l'âge des formations superficielles récentes,
- la géométrie de la zone altérée superficielle des schistes.



IV.1.3 - Etat des connaissances sur le site

Les connaissances proviennent d'une part de l'analyse documentaire des travaux antérieurement relevés dans la région de Segré et d'autre part des études* géologiques et géophysiques réalisées dans le cadre des travaux de confirmation des caractéristiques favorables 1ère phase. D'une façon générale des connaissances concernant les formations affleurantes ont pu être acquises (pétrographie, grandes failles, petite fracturation, série lithologique, données concernant les structures...) alors que pratiquement aucune donnée n'est disponible en profondeur.

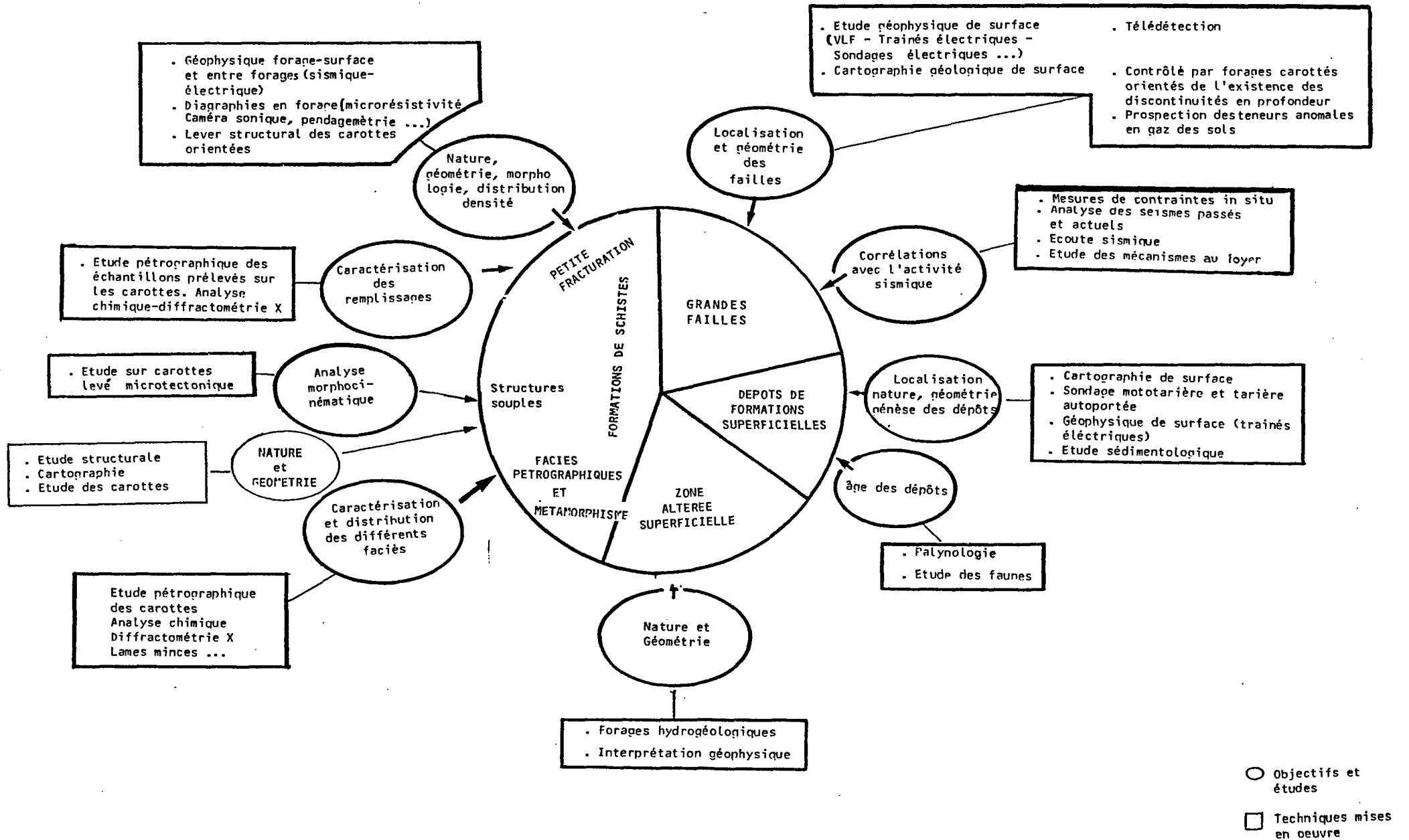
IV.1.4 - Extension des zones d'investigation géologique

La géologie du site étant un intermédiaire pour l'étude des différents autres thèmes, l'extension des zones d'études sera précisée pour chacun de ces thèmes.

IV.1.5 - Techniques mises en oeuvre

Celles-ci sont présentées figure 7.

* Voir liste bibliographique



IV.2 - Compréhension du fonctionnement hydrogéologique du site

IV.2.1 - Intérêt

Dans un bâti schisteux, l'eau est le vecteur potentiel de la migration des radionucléides. La connaissance des divers paramètres hydrogéologiques caractérisant à l'état naturel les schistes de Segré est un élément fondamental pour l'appréhension de la sûreté du site.

IV.2.2 - Données à recueillir

Pour évaluer les transferts hydrauliques au sein des schistes, il est nécessaire de disposer des données suivantes :

- éléments précis concernant la nature et la géométrie des conduits par lesquels les transferts hydrauliques risquent de se produire. Ceux-ci pouvant avoir des relations avec la distribution de la lithologie et des structures,
- distribution des perméabilités et des charges hydrauliques dans le massif,
- compréhension des régimes et des lois d'écoulement,
- composition isotopique des fluides renseignant sur l'origine et le temps de résidence des fluides dans le massif,
- distribution de l'état des contraintes mécaniques naturelles régnant dans le massif,
- données de climatologie du site,
- connaissance de l'hydrologie du site (débits des cours d'eau drainant le bâti).

IV.2.3 - Etat des connaissances

Des données concernant la nappe superficielle (piézométrie, composition chimique et isotopique des eaux) ainsi que des données de climatologie sont en cours d'acquisition. Aucun forage n'a reconnu le bâti schisteux granitique en profondeur sur la zone d'étude ; l'état des connaissances des caractéristiques hydrogéologiques est de ce fait très limité.

Cependant l'hydrogéologie de quelques zones de ce type a pu être étudiée.

IV.2.4 - Estimation des zones d'investigation hydrogéologique

D'une façon générale, le fonctionnement hydrogéologique des systèmes fracturés en profondeur est plus difficile à appréhender que celui des systèmes où les écoulements se font au travers de réseaux poreux continus. La compréhension du fonctionnement hydrogéologique du site de Segré n'en demeure pas moins nécessaire à la définition du domaine d'étude sur lequel porteront les travaux de reconnaissance hydrogéologique et à un stade ultérieur la modélisation des écoulements.

Trois domaines peuvent être distingués :

- la nappe superficielle, dans les terrains altérés et décomprimés peu profonds (100 premiers mètres environ),
- les zones de grandes failles dans lesquelles les écoulements principaux sont susceptibles de se concentrer,
- les zones très peu fracturées et peu perméables, susceptibles d'accueillir le laboratoire souterrain et le stockage et de constituer un des remparts principaux de la barrière géologique.

IV.2.4.1 - La nappe aquifère superficielle

La tranche superficielle (50 premiers mètres environ) des schistes peut renfermer une nappe aquifère qui est connue grâce aux puits d'alimentation en eau.

La connaissance de la nappe superficielle est importante à deux titres :

- les paramètres hydrogéologiques qui la caractérisent sont nécessaires pour la modélisation des écoulements dans le massif et donc pour les analyses de sûreté,
- cette nappe constitue, avec la Verzée, l'exutoire des migrations éventuelles de radionucléides depuis le stockage vers la biosphère.

Une limite hydrogéologique possible est constituée par la limite amont du bassin versant de la Verzée. La confluence de la Verzée avec l'Argos peut être retenue comme extrémité aval du secteur à étudier. En l'état des connaissances il semble possible de réduire l'extension de secteur vers l'Ouest en le limitant par une ligne d'écoulement superficiel passant par un méridien situé à l'Ouest de Combrée (cf. figure 8).

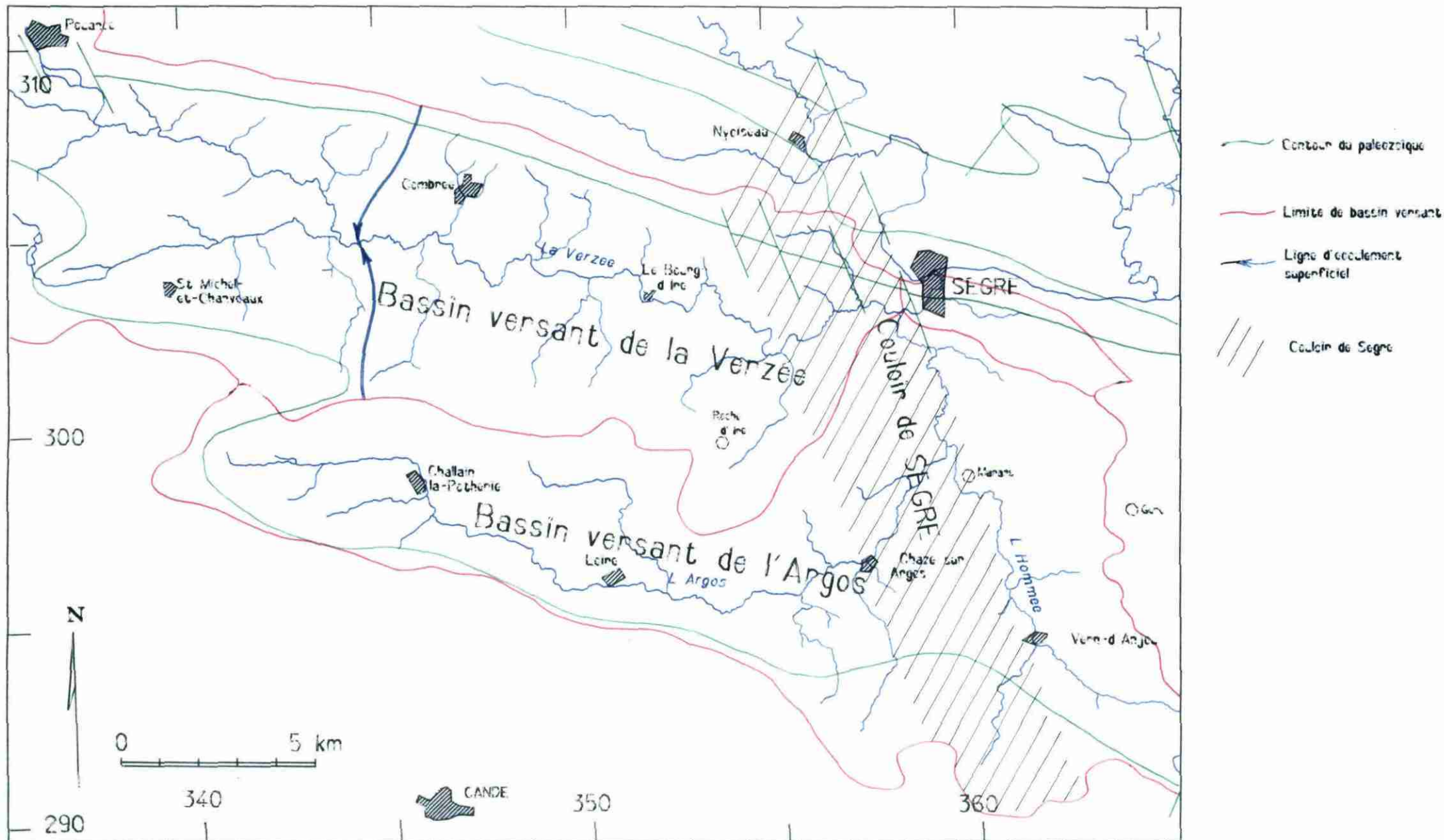
IV.2.4.2 - Les zones de Grandes failles

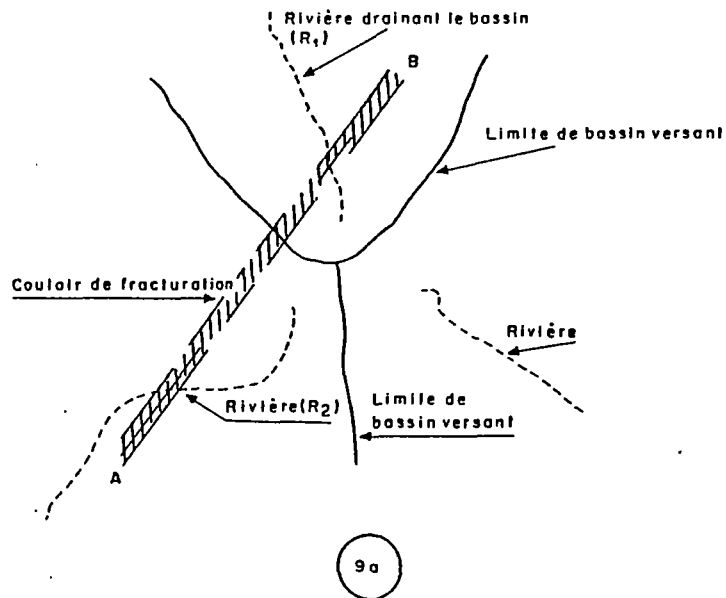
Des failles affectant le bâti schisteux ont été identifiées sans que leurs caractéristiques ne puissent être connues.

Il est nécessaire pour la modélisation des écoulements dans le massif, d'appréhender le rôle hydraulique des grandes fractures dans la mesure où il peut avoir une grande importance sur les trajectoires d'écoulement et les temps de transfert de radionucléides depuis le stockage vers la biosphère.

Il est difficile de connaître, a priori, le rôle hydraulique de ces failles. La connaissance précise de leur géométrie, de leur connexion hydraulique avec d'autres réseaux et de la distribution des charges hydrauliques auxquelles elles sont soumises, permettrait de limiter la zone sur laquelle il serait nécessaire de les étudier. Au stade actuel des connaissances, il est envisagé de caractériser ces éventuelles zones de grandes failles au voisinage immédiat du secteur favorable identifié lors des études précédentes et à son voisinage. Cette reconnaissance sera étendue si nécessaire à un domaine plus large en fonction des résultats des premières investigations profondes.

BASSINS VERSANTS HYDROLOGIQUES

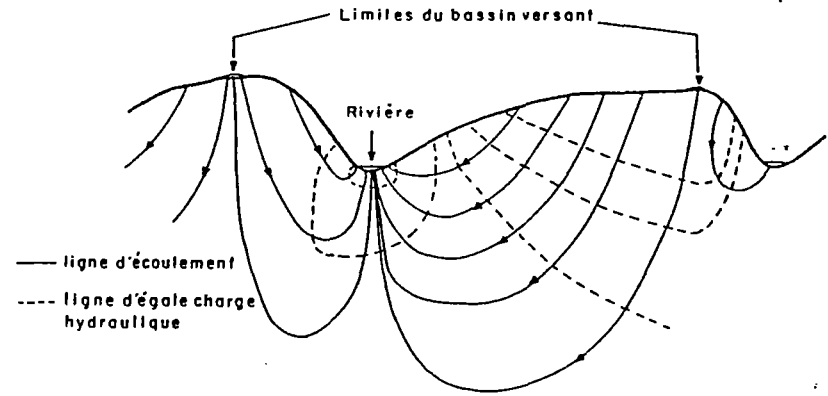




9a

FIG. 1 SCHÉMA CONCEPTUEL SIMPLIFIÉ DES DISTRIBUTIONS DES CHARGES HYDRAULIQUES DANS UN MASSIF BÂTI SCHISTEUX RECOUPÉ PAR DES GRANDES FAILLES TRAVERSANT PLUSIEURS BASSINS VERSANTS

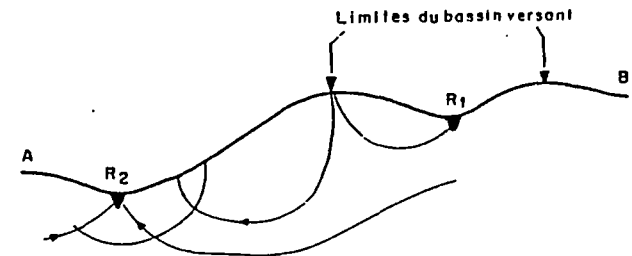
SHÉMA CONCEPTUEL SIMPLIFIÉ - DISTRIBUTION DES CHARGES HYDRAULIQUES DANS UN MASSIF BÂTI SCHISTEUX



- Les charges hydrauliques aval des accidents qui drainent le massif sont au moins supérieures à la cote de l'exutoire.
- L'ensemble des eaux qui circulent dans le massif ont pour exutoire final la rivière drainant le bassin versant du massif bâti schisteux.

9b

COUPE SCHÉMATIQUE A.B



Dans cette hypothèse les eaux s'infiltrant dans un bassin versant peuvent avoir comme exutoire la rivière drainant un bassin versant voisin.

La charge hydraulique aval de l'accident est égale au niveau de la rivière R₂

9c

La figure 9a présente une hypothèse de bâti schisteux dans lequel la limite constituée par le bassin versant de la nappe superficielle est satisfaisante comme limite d'investigation hydrogéologique. La figure 9b présente une hypothèse de massif cristallin dans lequel la limite constituée par le bassin versant de la nappe superficielle peut ne pas être satisfaisante comme limite d'investigation hydrogéologique. L'examen des altitudes (et donc des potentiels hydrauliques les plus faibles) des lits des rivières voisines de la Verzée laissent penser que la première hypothèse est plus vraisemblable. La comparaison des charges hydrauliques mesurées dans les zones de fractures avec les charges aval de la Verzée permettra d'indiquer si un schéma du type de celui présenté figure 9c est à écarter ou non.

En particulier le couloir tectonique de Segré dont l'extension est telle qu'il traverse les bassins versant de plusieurs rivières, sera étudié dans ce but.

IV.2.4.3 - Les zones très peu fracturées

Les études précédentes ont montré que les schistes étaient affectés par de la petite fracturation dont la densité est faible en dehors des zones de grandes failles.

Ces petites fractures sont les seuls conduits existants dans ce type de zone.

On peut penser, à priori, que les vitesses d'écoulement y seront lentes et dépendront de la densité de fracturation, de la présence de matériau de colmatage, et de la connectivité entre les réseaux de fissures. Il conviendra d'adapter la maille d'investigation de ce type de zone à la variabilité de leurs propriétés hydrogéologiques. La maille retenue devra permettre d'étendre les résultats à l'ensemble des zones limitées par les grandes failles.

Ces zones de faible perméabilité doivent permettre l'implantation d'un éventuel stockage et constituer un des remparts principaux de la barrière géologique. Une partie du programme d'investigation hydrogéologique aura pour objet la confirmation en profondeur des propriétés favorables d'une telle zone, sélectionnée par les études géologiques de surface.

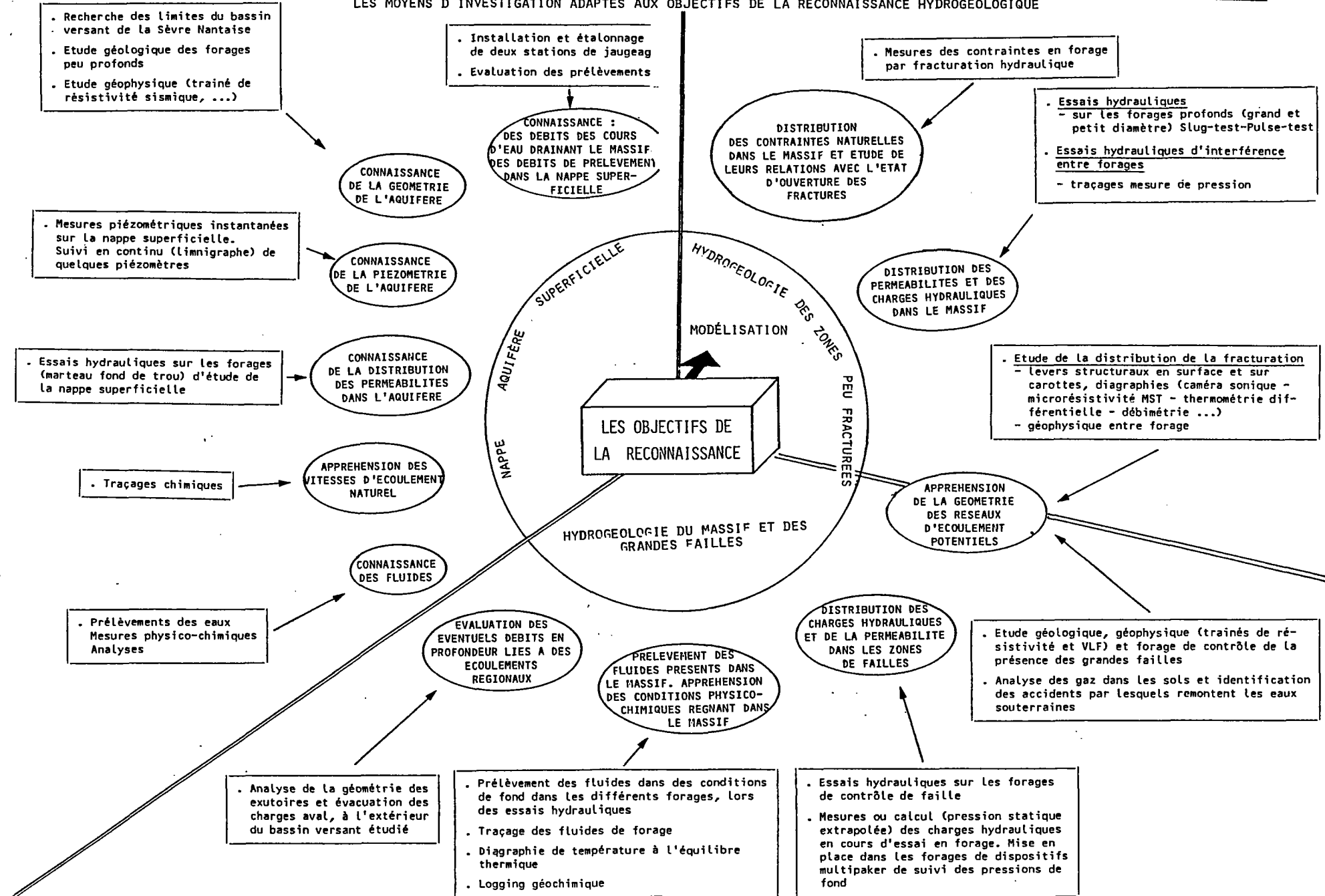
IV.2.5 - Les moyens d'investigation mis en oeuvre pour répondre aux objectifs de la reconnaissance hydrogéologique

Ceux-ci sont présentés figure 10.

PROGRAMME DE RECONNAISSANCE HYDROGÉOLOGIQUE

FIGURE 10

LES MOYENS D'INVESTIGATION ADAPTÉS AUX OBJECTIFS DE LA RECONNAISSANCE HYDROGÉOLOGIQUE



IV.3 - Compréhension du fonctionnement géochimique du site

IV.3.1 - Intérêt

Les processus géochimiques jouent un rôle fondamental au cours des différentes étapes de la migration potentielle des radionucléides. Ces différentes étapes sont :

- la corrosion des conteneurs de déchets, la lixiviation des déchets et la diffusion dans les barrières ouvragées,
- la migration au sein de l'environnement géologique qui résulte essentiellement en milieu cristallin du transport par les eaux souterraines,
- la rétention par le milieu géologique.

La compréhension du fonctionnement géochimique actuel du site est la base de l'appréhension de ces phénomènes (corrosion des conteneurs - dissolution des nucléides, formation de complexes chimiques radioactifs mobiles, rétention...).

IV.3.2 - Les données à recueillir

L'évaluation des processus géochimiques est très sensible aux variations des caractéristiques physico-chimiques des phases en présence. Les données suivantes seront à recueillir avec précision :

- détermination de la composition chimique (majeurs et traces) et minéralogique des roches du massif et plus particulièrement des épontes de fractures, des minéraux de remplissage des fractures dans lesquelles les fluides sont susceptibles de circuler,
- détermination de la composition chimique des phases fluides présentes dans le massif, ce qui suppose d'être en mesure de les distinguer des fluides qui auraient pu être introduits dans le massif par les opérations de forage. Les fluides doivent de plus être prélevés dans les conditions de pression régnant dans le massif,
- mesure des propriétés texturologiques (surface spécifique, spectre de porosité...) et caractérisation des interactions eau/roche (coefficient d'adsorption surfacique, capacité d'échange cationique...) des minéraux pouvant être en contact avec des fluides,
- détermination des conditions physico-chimiques régnant dans le massif (pression, température, pH, disponibilité d'ions hydrogène libres dissous, Eh - potentiel redox),
- inventaire des processus géochimiques (dissolution, précipitation, échange ionique...) susceptibles d'intervenir.

IV.3.3 - Etats des connaissances

Les processus qui régissent l'interaction eau/roche dans les milieux cristallins ont été largement étudiés (en particulier pour la métallogénie). Les études concernant les stockages souterrains ont été réalisées principalement sur les granites, les données, sur les bâtis schisteux sont bien plus rares. Aucun élément concernant les roches, les fluides, les conditions physico-chimiques présents n'est disponible.

IV.3.4 - Extension des zones d'études

Les données géochimiques sont à recueillir à l'échelle de la portion de massif dans laquelle des fluides susceptibles de contenir, diluer et retarder des radionucléides peuvent circuler, c'est-à-dire le champ proche de l'aire de stockage et la partie aval (de l'aire de stockage vers la biosphère), du réseau d'écoulement qui aura été caractérisé par les études hydrogéologiques.

IV.3.5 - Techniques à mettre en oeuvre

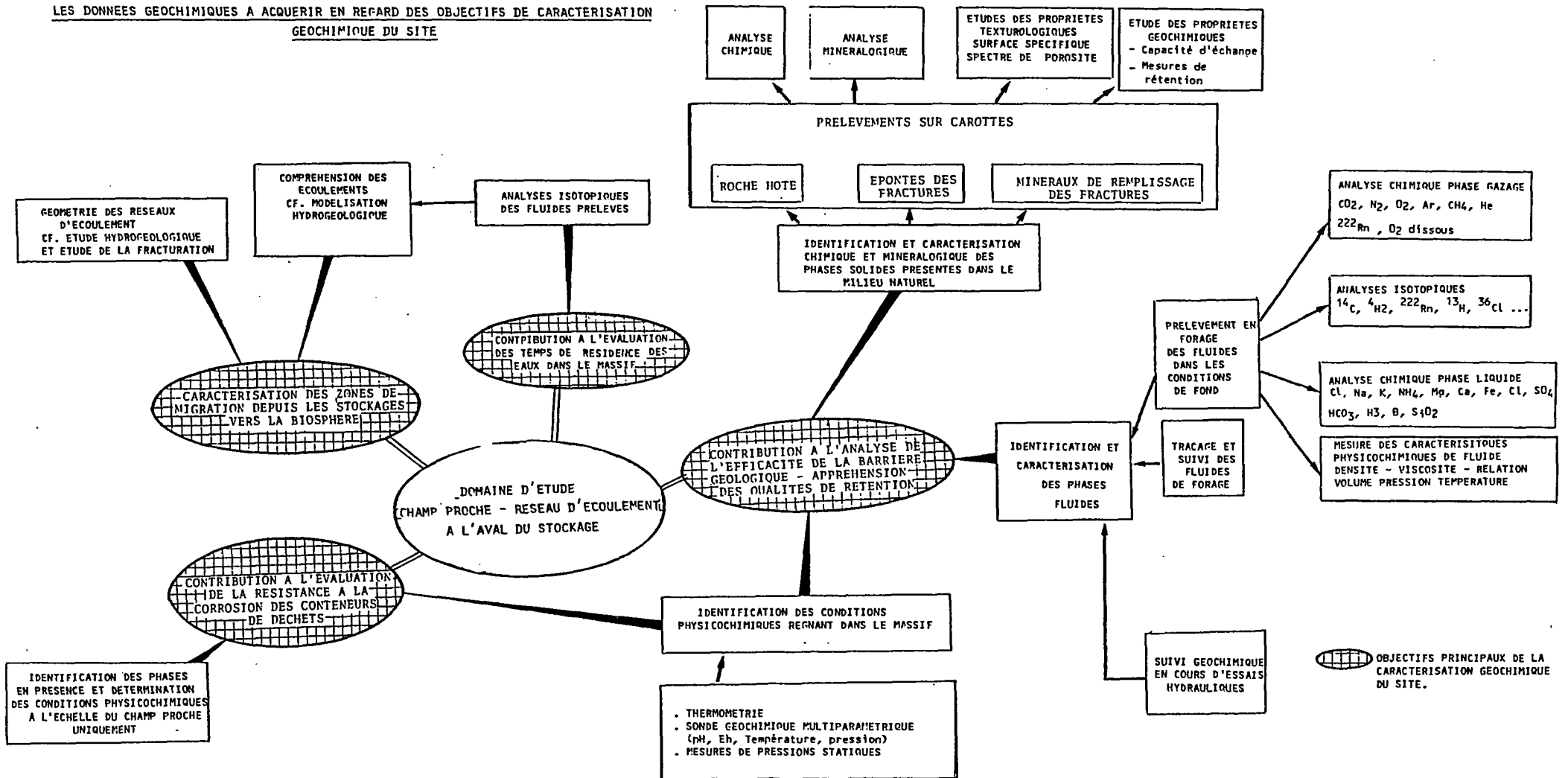
Les diverses données géochimiques seront acquises :

- par des mesures en laboratoire sur des échantillons de roches provenant des carottes de forages ou sur des échantillons de fluides prélevés en forage,
- des mesures in situ en forage au moyen de sondes géochimiques.

La figure 11 résume les différents moyens et techniques d'investigation à mettre en oeuvre pour le recueil des données nécessaires à la compréhension des processus géochimiques.

FIGURE 11

LES DONNEES GEOCHIMIQUES A ACQUERIR EN REFARD DES OBJECTIFS DE CARACTERISATION GEOCHIMIQUE DU SITE



IV.4 - Impact de l'évolution géologique du site

IV.4.1 - Intérêt

L'évolution des climats et de l'activité géodynamique prévisible sur le site peuvent avoir des effets sur la migration des radionucléides (effets directs ou par l'intermédiaire de processus tels que l'altération ou l'érosion).

L'évolution des climats interfère en particulier :

- sur les phénomènes d'érosion, le choix de la profondeur du stockage devra intégrer cette contrainte,
- sur le niveau des mers par l'intermédiaire des variations du volume des glaces. Ceci peut amener des modifications de la distribution des charges hydrauliques dans le massif par abaissement des charges aval au stockage.

Les séismes et les modifications des états de contraintes naturelles peuvent avoir des effets sur la distribution des perméabilités et modifier les trajectoires dans le massif.

IV.4.2 - Données à recueillir

Parallèlement aux études géologiques et structurales générales (cf. § IV.1), il est nécessaire de recueillir des éléments caractérisant les évolutions passées sur une période de temps d'une durée supérieure à la période pendant laquelle le stockage de déchets radioactifs présentera une nuisance potentielle.

Ce sont :

- caractérisation du contexte pétrostructural du site (cf. IV.1),
- détermination des états de contraintes naturelles régnant dans le massif dans la mesure où ceux-ci sont liés à l'histoire géologique du site et constitue un des critères de jugement de la stabilité géodynamique du site,
- reconnaissance et datation des marqueurs d'évolution néotectoniques et climatiques (dépôts de formations superficielles, surfaces morphologiques, réseau hydrographique),
- caractérisation du contexte sismique historique et actuel, identification et localisation des accidents sismogènes mécanismes au foyer, sismicité historique...),
- appréhension de l'impact des phénomènes précédemment cités sur l'hydrogéologie et la géochimie du site.

IV.4.3 - Etat des connaissances

Des connaissances générales et régionales ont été acquises dans le cadre des études géologiques (levés de surface et télédétection) ou des études de néotectonique, géoprospective et de sismicité historique. Des questions restent en suspens :

- les états de contraintes naturelles ne sont pas connus sur le site et très peu connus régionalement,

- des marqueurs néotectoniques et climatiques ont été identifiés sur le site et à son voisinage. Leurs géométries et leurs âges doivent être déterminés,
- l'inventaire de la sismicité historique et instrumentale a permis d'identifier des séismes d'intensité modérée,
- la localisation de certains séismes et les caractéristiques des sources peuvent être précisées.

IV.4.4 - Extension des zones d'études

Les travaux liés à l'étude des formations superficielles seront focalisés sur les affleurements présents sur le site ou sa proximité (couloir de Segré). Des analyses à l'échelle régionale pourront être réalisées pour préciser les éléments climatiques et néotectoniques, qui n'auraient pu être obtenus sur le site.

Les mesures de contraintes et éventuellement de l'activité sismique seront entreprises au coeur du massif et en bordure des grandes failles si les conditions techniques le permettent.

IV.4.5 - Techniques mises en oeuvre

Les techniques mises en oeuvre pour le recueil des données nécessaires sont les suivantes :

- cartographie des formations superficielles,
- détermination de la morphologie par géophysique et tarière,
- datation par palynologie et étude des faunes,
- mesure des contraintes naturelles par fracturation hydraulique en forage,
- caractérisation des séismes par réseau d'écoute sismique (option),
- appréhension de l'impact de l'évolution géologique du site par modélisation numérique.

IV.5 - Impact du stockage

IV.5.1 - Intérêt

La réalisation des travaux miniers, le dépôt des déchets et des conteneurs, la mise en place d'un matériau de remplissage, ont un impact hydrogéologique, géochimique, mécanique et thermique qui provoque des perturbations de l'état naturel du site dont les effets sur la sûreté du site seront à appréhender. Ces perturbations sont principalement :

- variation de température,
- modification des états de contraintes,
- modification de la distribution des charges hydrauliques et des perméabilités et donc des écoulements au travers du massif,
- modification des caractéristiques physico-chimiques du milieu.

IV.5.2 - Données à recueillir

En complément aux études géologiques et structurales générales, il est nécessaire de disposer :

- d'éléments caractérisant la géométrie et l'architecture du massif (dimensions des blocs, champ de fractures...)
- des caractéristiques mécaniques et thermiques des fractures et des roches susceptibles d'abriter le stockage. Ces caractéristiques doivent être connues en valeur instantanée et pour certaines à plus long terme,
- des états de contraintes naturels,
- de l'évolution au cours du temps des différents paramètres caractérisant l'état actuel .

IV.5.3 - Etat des connaissances

Peu d'études générales concernant le comportement des schistes en fonction de la température ont été effectuées jusqu'à présent. Les données caractérisant les schistes de Segré restent à acquérir.

IV.5.4 - Extension des zones d'études

Ces données sont à recueillir surtout dans l'environnement proche du stockage où les phénomènes seront les plus sensibles. L'emplacement du stockage n'étant pas connu au stade actuel de l'avancement des études, les mesures pourront être réalisées sur des schistes "sains" peu fracturés.

IV.5.5 - Techniques mises en oeuvre

L'évaluation de l'impact du stockage sur la sûreté du site nécessite :

- la réalisation de nombreux essais sur échantillons (blocs ou carottes de forage),
- la réalisation, dans un stade ultérieur (quand le laboratoire souterrain sera disponible), d'essais in situ,
- la mise au point de modèles basés sur une bonne description de la zone proche du stockage, sur les résultats des essais qui auront pu être réalisés et sur les lois de comportement à long terme qui pourront en découler. Ces modèles auront pour objet de quantifier sur la période du stockage les différents effets induits par le stockage sur la migration des radionucléides depuis le stockage vers la biosphère.

IV.6 - Implantation, conception et dimensionnement des ouvrages souterrains

L'implantation du stockage nécessite l'évaluation des doses transmises ;

La connaissance des paramètres mécaniques et thermiques des schistes, des états de contraintes et, la géologie sont nécessaires à la détermination des dimensions optimales des puits et des galeries. L'ensemble de ces éléments aura été recueilli dans le cadre des autres objectifs de la phase des travaux de confirmation des caractéristiques favorables.

Les études déjà réalisées montrent que, si l'implantation est possible, la conception et le dimensionnement des ouvrages souterrains ne posent pas de problème.

V - STRATEGIE D'ETUDE DUSITE

L'analyse des différents phénomènes entrant en jeu dans la modélisation des transferts et, dans la conception et le dimensionnement des ouvrages souterrains conduit à distinguer des zones d'études et des objectifs immédiats pour lesquels sont proposées différentes techniques de reconnaissance. Ces zones sont :

- les zones très peu fracturées et peu perméables, milieu d'accueil du laboratoire souterrain et du stockage, qui constitueront un des remparts principaux de la barrière géologique ; dans l'attente du choix de l'emplacement retenu pour le stockage, les travaux destinés à étudier le comportement des zones proches du stockage seront effectués sur de telles zones ; La majeure partie du secteur favorable retenu est, en l'état actuel des connaissances, de ce type ;
- les zones de grandes fractures dans lesquelles les écoulements sont susceptibles de se concentrer et qui influencent les trajectoires des écoulements et les temps de transfert ; Il convient en particulier de vérifier l'absence de ce type de zones sur une partie suffisante du secteur retenu ;
- la nappe aquifère superficielle dans les terrains altérés et décomprimés peu profonds (100 premiers mètres environ) qui constitue un exutoire et contribue à l'alimentation du réseau profond ;
- le massif ou la région pris dans leur ensemble.

L'acquisition des données se fera sur le site, par des mesures directes ou par l'intermédiaire de forages, ou en laboratoire sur échantillons. La description des phénomènes complexes nécessitera par ailleurs la mise au point de modèles numériques. Ce rapport se limite à la description des travaux sur le site. Les études en laboratoire et la modélisation sont citées pour mémoire.

Le volume des travaux a été déterminé de manière à respecter les délais imposés tout en essayant d'aborder de façon satisfaisante le problème de la variabilité des paramètres propre au milieu cristallin.

V.1 - Les zones peu fracturées

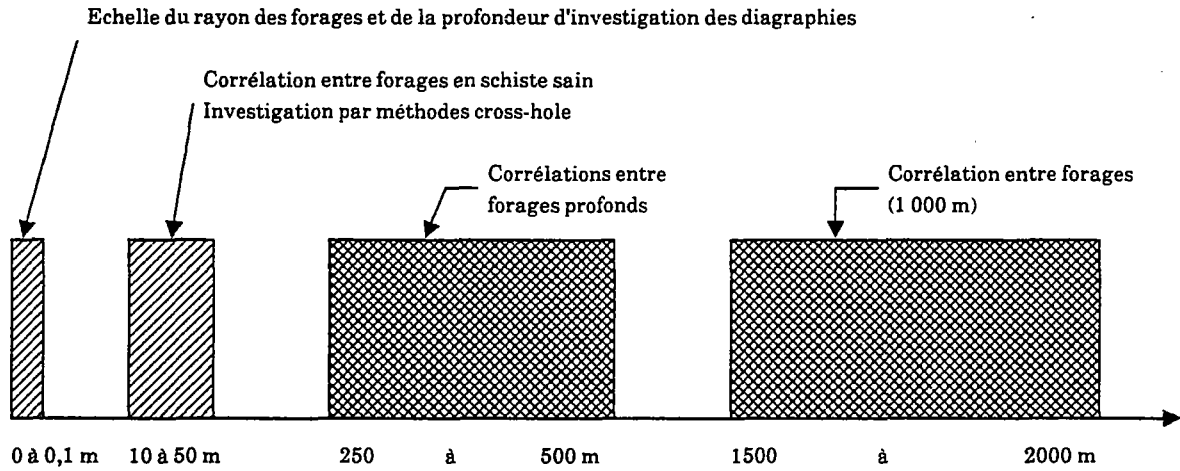
Un secteur constitué de schistes peu fracturés et non traversés par des accidents tectoniques importants a pu être retenu à l'issue des travaux de confirmation des caractéristiques favorables du site 1ère phase.

Le secteur des schistes de Segré présente cependant des particularités, par comparaison à un massif granitique par exemple :

- il est constitué d'une série lithologique différenciée (série sédimentaire soumise à une métamorphisme régional),
- il est affecté par une structuration tectonique (plissement, schistosité, accidents cassants...). C'est donc un milieu typiquement hétérogène.

La superposition des divers processus géologiques, sédimentation, métamorphisme tectonique parfois indépendants qui ont affecté l'histoire du site conduit vraisemblablement à une dispersion des divers paramètres nécessaires à la confirmation des caractéristiques favorables. Un des principaux fils directeurs de la stratégie d'approche du site consistera à l'étude de la variabilité des différents paramètres et les effets d'échelle qui y sont liés.

Les échelles horizontales retenues, en l'état actuel des connaissances, pour appréhender la variabilité des paramètres sont schématisées ci-dessous.



Les différents travaux à réaliser sur les zones peu-fracturées sont récapitulés ci-après.

● Réalisation d'un premier forage carotté de 1 500 mètres de profondeur

Les objectifs de ce forage sont :

- de vérifier en début de campagne que les schistes présentent en profondeur les caractéristiques de faible perméabilité qui sont nécessaires à la roche qui abritera le laboratoire,
- de définir le cadre géologique général du site et en particulier la série lithologique,
- de contribuer au même titre que les autres forages qui seront réalisés par la suite, à la connaissance structurale du secteur et à l'appréhension de la variabilité des différents paramètres à recueillir,
- de tester un certain nombre de techniques d'étude afin de retenir pour les forages suivants celles qui s'adaptent le mieux aux spécificités des schistes de Segré.

Ce forage sera implanté (fig. 12) dans un petit anticlinal situé au coeur d'une structure synclinalium* de façon à recouper l'épaisseur de série lithologique susceptible d'être rencontrée sur le secteur favorable à une profondeur inférieure à 1 000 mètres.

L'implantation précise de ce forage sera effectuée à l'issue :

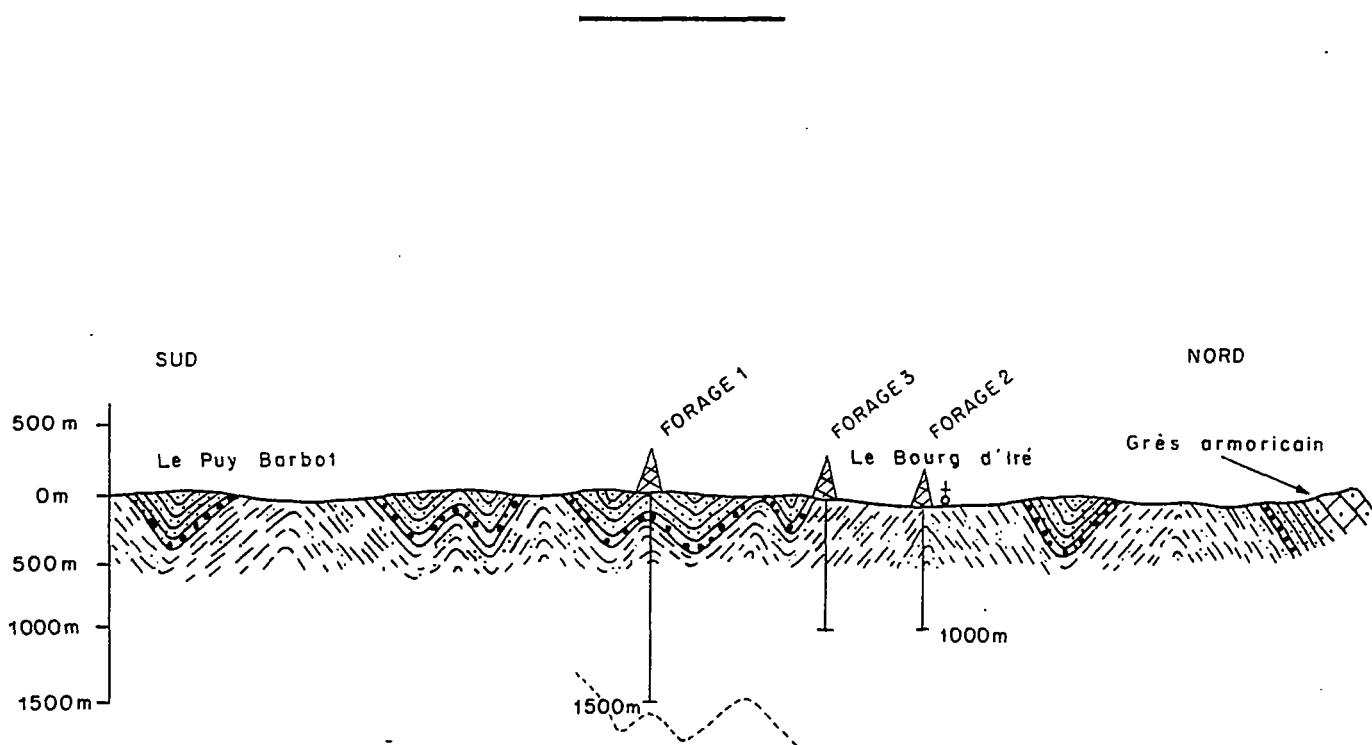
- de travaux de cartographie géologique et de la réalisation d'un transept de quelques forages peu profonds destinés à s'assurer une position structurale telle que définie précédemment,
- de travaux de géophysique de surface destinés à reconnaître l'absence de discontinuités structurales au voisinage du forage.

* Cette structure se marque sur la carte géologique par un affleurement de quartzite.

FIG.12

COUPE GÉOLOGIQUE INTERPRÉTATIVE AU VOISINAGE DU MÉRIDIEN DE BOURG D'IRÉ.

Position structurale des forages projetés



FORAGES PROFONDS

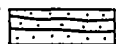
FORAGE 1: Situé en coeur de synclorium et recoupant une grande partie de la série lithologique inférieure et le contact quartzite/schistes.

FORAGE 2: Situé en coeur d'anticlinal

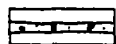
FORAGE 3: Situé en flanc de structure anticlinale

(La position des forages ultérieurs sera précisée à l'issue des résultats des précédents.)

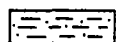
LÉGENDE



Formation des quartzites



Formation des poudingues de Gourin



Formation des siltites vertes



Formations briovériennes

Echelle 1/50 000

Un programme complet d'étude géologique, de diagraphies, d'essais hydrauliques, de prélèvement de fluides et de mesures géochimiques in situ sera entrepris.

- Etude d'un volume de roche situé dans un rayon d'une cinquantaine de mètres autour du premier forage par la réalisation de forages en petit diamètre, d'essais géophysiques et hydrauliques entre forages, prélèvements de fluide, mesure des contraintes naturelles par fracturation hydraulique. La distance entre les forages sera choisie à l'issue des résultats du premier forage et optimisée en fonction des profondeurs d'investigation des méthodes de mesures entre forages dans le terrain considéré.

- Etude de la variabilité d'une portion de massif au moyen de 13 forages d'une centaine de mètres de profondeur et distants les uns des autres d'environ 250 mètres. Les effets de l'anisotropie de structure et de l'anisotropie liée à la sédimentologie originelle des formations sur les paramètres géologiques mécaniques et hydrogéologiques seront étudiées à l'échelle de la distance séparant les forages.

- Réalisation de deux ou trois autres forages de 1 000 mètres de profondeur carottés.

Les forages distants de 1 800 à 2 500 mètres du premier forage auront pour objet de compléter la reconnaissance du site et d'appréhender la variabilité des paramètres géologiques hydrogéologiques et mécaniques à l'échelle du secteur favorable.

Des programmes d'études et de mesures similaires à ceux proposés pour le premier forage y seront réalisés.

- Une description détaillée de la fracturation et des faciès pétrographiques (étude directe ou par l'intermédiaire des diagraphies) sera entreprise.

- Des mesures et essais mécaniques, thermiques, hydrauliques et géochimiques seront effectués en laboratoire sur les échantillons de roches prélevés en forage.

- Les échantillons de fluide recueillis en forage seront analysés.

V.2 - Les zones de grandes failles

- Le secteur favorable retenu à l'issue des études précédentes est a priori peu affecté par les grandes failles. Des indices de failles ont cependant été observés, par télédétection par exemple. Un programme de géophysique (trainé de résistivité, sondages électriques conventionnels, VLF) sera mis en oeuvre. Les différents indices de failles relevés lors des études précédentes seront ainsi contrôlés.

- Les indices d'existence de failles qui auront été confirmés par géophysique feront l'objet d'un contrôle par forages carottés inclinés. Le rôle hydraulique des failles pourra ainsi être contrôlé. Un programme d'essai hydraulique à court et long terme sera réalisé.

- Une prospection de la teneur en gaz des sols sera réalisée dans le but de mettre en évidence des circulations ascendantes dans les zones de failles.

- Le secteur favorable est limité à l'Ouest par des grandes failles qui constituent le couloir de Segré. Outre les travaux d'études des formations superficielles destinés à appréhender le comportement néotectonique des accidents du couloir de Segré, un forage d'étude du comportement hydrogéologique de ce couloir sera réalisé. En particulier l'étude des charges hydrauliques pour ce forage devrait permettre de savoir si ce couloir joue un rôle hydrogéologique dont l'importance dépasse le bassin versant de la Verzée.

- réalisation de forages carottés inclinés recoupant ces zones de grandes failles ; réalisation de programme d'essais hydrauliques à court et long terme et géophysique entre forages ; mesure de contraintes et prélèvement de fluide,
- description détaillée de la fracturation et des faciès pétrographiques,
- mesure et essai en laboratoire.

V.3 - La nappe aquifère superficielle

La zone d'étude de la nappe superficielle s'étendra sur le bassin versant amont de la Verzée.

Les travaux à réaliser sur la nappe superficielle peuvent se résumer de la façon suivante :

- réalisation de forages destructifs, essais hydrauliques, suivi piézométrique, prélèvements d'eau et analyses,
- installation d'une station de climatologie pour faire le bilan hydrogéologique de la nappe,
- installation d'une station de jaugeage à l'aval de la zone d'étude pour évaluer les transferts entre la nappe et la rivière qui la draine.

V.4 - Reconnaissance à l'échelle du massif

Ces reconnaissances concernent l'évolution géodynamique du site et porteront sur les gisements de formations superficielles plio-quadernaire les plus proches du site.

Des profils de forage à la tarière et de mesures géophysiques seront exécutés sur les bassins sédimentaires récents. Des analyses et datations seront faites sur les échantillons prélevés.

Des modèles géoprospectifs seront élaborés à l'échelle du massif.

Des modèles hydrogéologiques et géochimiques rendant compte des écoulements et de la composition des eaux dans l'ensemble du massif (zone peu fracturée, zone fracturée, nappe superficielle, Verzée) seront réalisés.

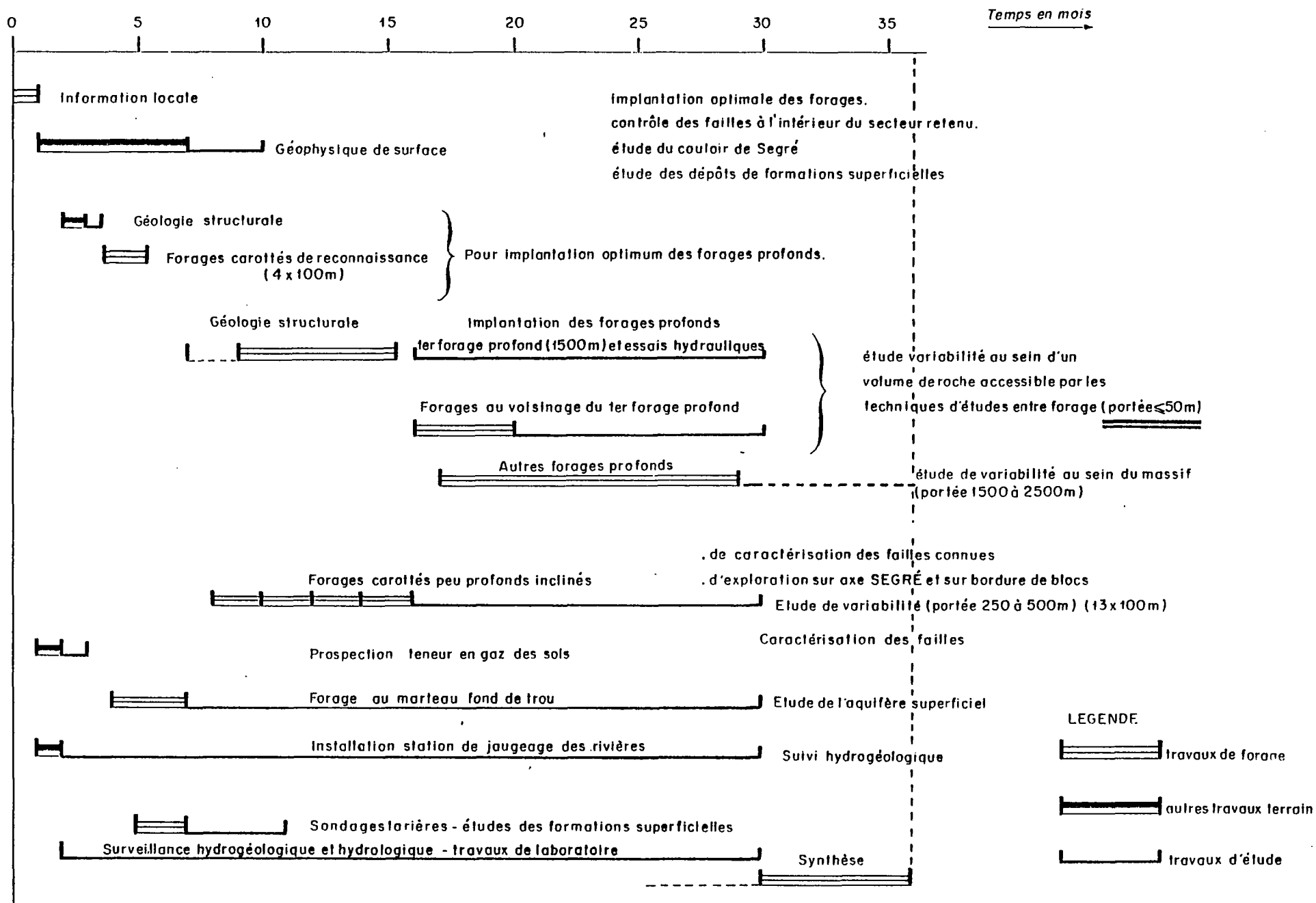
VI - PLANNING GENERAL DES TRAVAUX

Un planning général simplifié des opérations est proposé en figure 13.

VII - IMPLANTATION PREVISIONNELLE DES PRINCIPAUX TRAVAUX

Celle-ci est présentée figure 14.

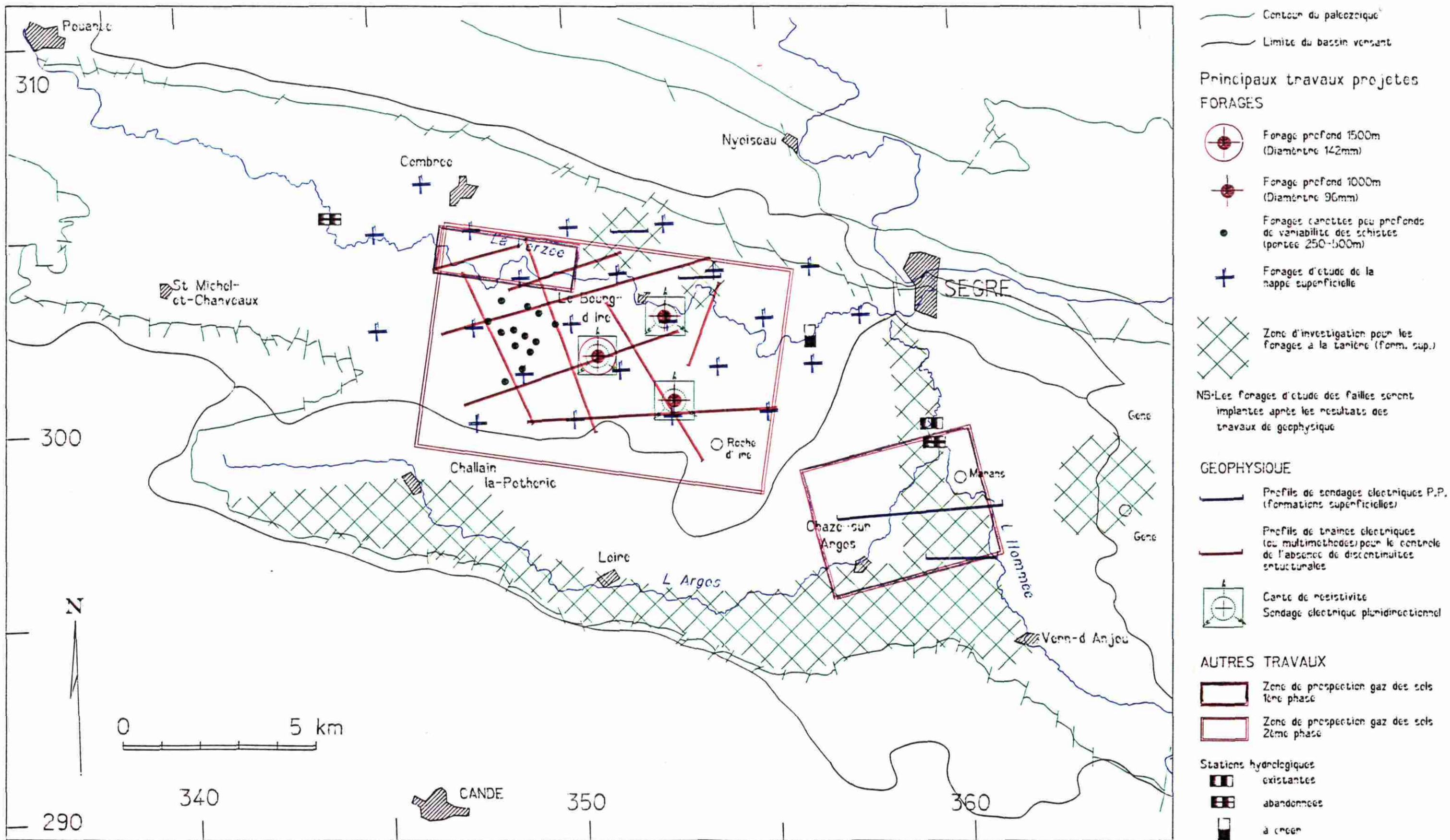
FIG.13- SCHISTES DE SEGRÉ - PLANNING PRÉVISIONNEL SIMPLIFIÉ DES TRAVAUX DE RECONNAISSANCE DU SITE.



SCHISTES DE SEGRE

ANDRA

IMPLANTATION PREVISIONNELLE DES PRINCIPAUX TRAVAUX



LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

Etudes sur les schistes de Segré.

- Une étude bibliographique (rapport BRGM 86 PAL 015)
- Une étude géophysique (rapport BRGM 86 DT 16 GPH)
- Une étude géologique (rapport BRGM 86 SGN 375 GEO)
- Une étude structurale (rapport BRGM 86 SGN 370 GEO)
- Une étude morphostructurale (rapport BRGM 86 SGN 376 GEO)
- Une étude sur l'occupation du sol et du sous-sol (rapport BRGM 86 PAL 012)
- Une étude de sismicité (rapport BRGM 86 SGN 471 GEG)
- Une étude de comparaisons de nivellement (rapport BRGM 86 SGN 499 GEO)
- Une synthèse générale (rapport BRGM 86 SGN 414 GEO)
- Climatologie hydrologie générales (rapport BRGM 86 SGN 704 PAL).

