

ÉTUDES PRÉALABLES AU DÉBAT PUBLIC
SUR LA LGV PACA

**ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE ET PRINCIPALES
CONTRAINTES ASSOCIEES**

Octobre 2004

Etude réalisée pour le compte de RFF par :



SETEC International
5 chemin des Gorges de Cabriès
13127 VITROLLES

ÉTUDES PREALABLES AU DEBAT PUBLIC SUR LA LGV PACA

ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE ET PRINCIPALES CONTRAINTES ASSOCIEES

RAPPORT

TABLE DES MATIERES

| | | | |
|---|----|---|----|
| 1. GÉNÉRALITÉS..... | 3 | 3.1 Les risques naturels associés aux mouvements de terrain | 16 |
| 1.1 Cadre de l'étude | 3 | 3.1.1 Risques liés aux formations karstiques | 16 |
| 1.2 Objectifs – Contenu du dossier | 3 | 3.1.2 Risques d'instabilité lié aux formations argileuses | 16 |
| 1.3 Documents consultés | 3 | 3.1.3 Risques liés au Trias gypseux | 16 |
| 2. PRÉSENTATION DE L'ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE RÉGIONAL | 4 | 3.1.4 Aléa sismique | 16 |
| 2.1 Préambule..... | 4 | 3.1.5 Autres risques non cartographiés..... | 16 |
| 2.2 Bref aperçu de l'histoire géologique de la Provence..... | 4 | 3.2 Contraintes géotechniques de conception..... | 18 |
| 2.2.1 Ere primaire..... | 4 | 3.2.1 Franchissement des zones compressibles | 18 |
| 2.2.2 Ere secondaire..... | 4 | 3.2.2 Traversée des zones karstiques | 18 |
| 2.2.3 Ere tertiaire | 2 | 3.2.3 Terrassements en terrains argileux et évolutifs | 18 |
| 2.2.4 Le Quaternaire..... | 3 | 3.2.4 Traversée souterraine des dislocations tectoniques | 18 |
| 2.3 Les grands ensembles géomorphologiques | 3 | 3.2.5 Prise en compte de l'aléa sismique..... | 19 |
| 2.3.1 Les massifs cristallins | 3 | 3.3 Tableau de synthèse..... | 19 |
| 2.3.2 La dépression permienne..... | 3 | | |
| 2.3.3 Les infrastructures triasiques | 3 | | |
| 2.3.4 Les superstructures jurassiques | 3 | | |
| 2.3.5 Les chaînes subalpines | 2 | | |
| 2.4 Contexte structural et sismotectonique actuel..... | 2 | | |
| 2.5 Lithostratigraphie synthétique..... | 2 | | |
| 2.5.1 Terrains primaires..... | 2 | | |
| 2.5.2 Terrains secondaires | 2 | | |
| 2.5.3 Terrains tertiaires..... | 15 | | |
| 2.5.4 Terrains quaternaires | 15 | | |
| 2.6 Éléments sur les contextes hydrogéologiques | 15 | | |
| 2.6.1 Les massifs cristallins | 15 | | |
| 2.6.2 Le domaine calcaire | 15 | | |
| 2.6.3 Les formations du Crétacé supérieur et du Tertiaire | 15 | | |
| 2.6.4 Le Trias gypseux..... | 15 | | |
| 2.6.5 Les alluvions quaternaires | 15 | | |
| 3. INVENTAIRE DES CONTRAINTES GÉOLOGIQUES D'AMÉNAGEMENT | 16 | | |

1. GENERALITES

1.1 Cadre de l'étude

Réseau Ferré de France, RFF, Direction du Développement, explore les principaux enjeux du projet de grande vitesse et de grande capacité, LGV PACA.

Ce projet en est aujourd'hui au stade des études d'opportunité préalables au lancement d'un débat public.

Dans le cadre des études entreprises, RFF a demandé à SETEC International de produire une présentation de l'environnement géologique et des contraintes d'aménagement qui lui sont associées portant sur le territoire concerné par la desserte ferroviaire à grande vitesse ; ce territoire est défini par les limites suivantes :

- à l'Ouest, par la LGV Méditerranée entre Avignon et Marseille,
- au Nord, par une ligne reliant Lambesc – Pertuis – Draguignan – Grasse – Sospel,
- à l'Est, par la frontière avec l'Italie,
- Au Sud, par le rivage méditerranéen.

Le présent dossier expose cette étude.

1.2 Objectifs – Contenu du dossier

Cette mission a pour objet de compléter les dossiers déjà établis par une approche plus approfondie de la géologie régionale et des contraintes géologiques et géotechniques qui en découlent, dans un esprit visant à mieux appréhender les conditions d'aménagement du projet, et, notamment, des ouvrages souterrains dont le coût est directement dépendant de la géologie.

A cet effet, le présent dossier s'organise en deux parties :

Ø Présentation de l'environnement géologique régional :

Cette partie aborde les thèmes suivants :

- bref aperçu sur l'histoire géologique de la Provence,
- présentation des grands ensembles géomorphologiques,
- contexte structural et sismotectonique actuel,
- description lithostratigraphique synthétique des unités géologiques en présence,
- éléments sur les contextes hydrogéologiques.

Le support principal de cette présentation est la carte géologique BRGM au 1/250 000.

Ø Inventaire des contraintes géologiques d'aménagement :

Sur la base des éléments développés dans la présentation géologique, cette partie de l'étude précise les contraintes associées à la géologie en distinguant :

- les risques naturels, exemple : formations associées à des instabilités de terrain (ex : risque d'effondrement, de glissement de terrain), aléa sismique ;
- les contraintes géotechniques à prendre en compte dans la conception du projet, exemple : zones compressibles, zones karstiques, formations susceptibles de gonflement, dislocations tectoniques, etc.

Nota : les contraintes associées à l'activité anthropique (exemple : vides miniers), déjà traitées dans le dossier général de présentation de l'état initial, ne sont pas reprises dans le cadre de la présente étude.

Ces risques et contraintes sont représentés sous la forme de cartes thématiques construites à l'échelle du 1/250 000, et présentées à l'échelle du 1/500 000.

1.3 Documents consultés

La synthèse géologique présentée dans ce qui suit fait notamment référence aux documents cartographiques et bibliographiques ci-après :

- *Carte géologique de la France au 1/250 000, feuilles de Marseille (n° 39) et de Nice (n° 40), BRGM 1979.*
- *Carte géologique de la France au 1/50 000, feuilles de Aubagne-Marseille (1044), Aix-en-Provence (1021), Pertuis (995), Tavernes (996), Brignoles (1022), Cuers (1045), Toulon (1064), Draguignan (1023), Collobrières (1046), Hyères (1065), Fayence (998), Fréjus-Cannes (1024), Grasse-Cannes (999), Menton-Nice (973).*
- *Guide géologique régional de la Provence, Masson 1979.*
- *A la découverte des paysages géologiques de Marseille à Menton (carte au 1/200 000), BRGM 1973.*
- *Carte sismotectonique de la France au 1/1 000 000, BRGM 1981.*
- *Carte des zones exposées à des glissements, écroulements, effondrements et affaissements de terrain en France au 1/1 000 000, Mémoire du BRGM n° 124, 1983.*

2. PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE REGIONAL

2.1 Préambule

Schématiquement, la géologie provençale s'organise en trois grands domaines (voir planche 1 : Carte géologique en page suivante) :

Ø **Le domaine de la Provence calcaire** ; formé par une couverture sédimentaire secondaire et tertiaire où les terrains carbonatés (calcaires, dolomies) sont largement représentés ; ce domaine se caractérise par des reliefs marqués orientés Est-Ouest (chaînes de la Sainte Victoire, de l'Etoile, de la Sainte Baume, mont Aurélien, montagne du Regaignas, de la Loubé), résultant d'une évolution tectonique complexe dans une cinématique de chevauchements à vergence Nord ; dans cette évolution, le Trias supérieur gypsifère (Keuper) a joué un rôle majeur en permettant le décollement de la couverture secondaire sur son substratum primaire.

Ø **Le domaine de la Provence cristalline** ; il s'étend du cap Sicié, à l'Ouest, à la vallée de la Siagne, à l'Est, et regroupe les massifs des Maures, de l'Estérel et de Tanneron ainsi que l'archipel des îles d'Hyères ; cet édifice primaire, constitué d'une puissante série métamorphique (gneiss, schistes, micaschistes) et plutonique (granite) structurée lors de l'orogénèse hercynienne, représente le témoin continental d'un ensemble cristallin plus vaste auquel on rattache classiquement la Corse et la Sardaigne. Sur son pourtour, le massif des Maures est couronné par une auréole de terrains permien associant des formations détritiques continentales, issues du démantèlement de la chaîne hercynienne, et des séquences de roches volcaniques qui montrent leur développement maximum dans le massif de l'Estérel.

Ø **Le domaine subalpin** ; au Nord du massif cristallin de Tanneron et dans la région niçoise, la géologie contraste nettement par rapport aux domaines précédents ; on rentre ici dans la terminaison provençale des Alpes méridionales où la série sédimentaire secondaire et tertiaire est affectée de plissements et de chevauchements orientés Nord-Sud à Est-Ouest dans une cinématique générale de déformation à vergence Ouest-Sud-Ouest.

Ces structures définissent des chaînons arqués successifs (arcs de Castellane, de Nice, de la Roya) où les formations secondaires présentent des faciès lithologiques différents de ceux de la Provence calcaire, et globalement plus marneux.

Le motif géologique actuel du territoire, objet de l'étude, se caractérise donc par une grande diversité de terrains allant du primaire ancien (socle métamorphique) au quaternaire récent (alluvions et dépôts littoraux sub-actuels), de natures très variées (roches éruptives, métamorphiques, sédimentaires), et généralement affectés de déformations tectoniques (plis, failles, chevauchements) complexes. Cette diversité est le résultat d'une succession de contextes et d'événements particuliers au cours des temps géologiques dont un résumé est donné ci-après.

2.2 Bref aperçu de l'histoire géologique de la Provence

2.2.1 Ere primaire

Les terrains primaires sont essentiellement représentés par les formations métamorphiques (schistes, micaschistes, gneiss) et plutoniques (granite) hercyniennes des Maures, du Tanneron et de la Presqu'île de Sicié, ainsi que par les terrains permo-carbonifères de l'Estérel.

Etant donné l'intensité du métamorphisme (croissante d'Ouest en Est), il est difficile de retracer la stratigraphie des terrains affectés par les déformations hercyniennes ; seuls les faciès les moins métamorphiques (phyllades du cap Sicié) ont permis des datations grâce à la présence de fossiles (graptolites) donnant un âge Silurien à cette séquence. La série des Maures correspond donc vraisemblablement à un ensemble de dépôts volcano-sédimentaires marins anté-siluriens ayant subi un enfouissement profond pendant l'orogénèse hercynienne (carbonifère).

Lors de cet enfouissement, des plutons granitiques se sont mis en place en plusieurs épisodes, les plus précoces ayant dérivés en orthogneiss par métamorphisme catazonal.

Au cours du Carbonifère et au Permien, une intense érosion s'est exercée sur la chaîne hercynienne, jusqu'à dégager à l'affleurement les termes métamorphiques les plus profonds. Les produits de cette érosion continentale se sont accumulés sous la forme de grès, conglomérats, et pélites argileuses dans des bassins d'effondrement ; la dynamique de ces bassins était régie par des fractures suivant lesquelles des épanchements volcaniques se sont produits (rhyolites de l'Estérel).

La structure de ce socle primaire influencera ensuite l'évolution ultérieure de la Provence alpine par le jeu d'accidents cassants profonds dont certains sont encore actifs aujourd'hui :

- faille des Cévennes, faille de Nîmes, faille d'Aix-en-Provence et de la moyenne Durance (direction NNE/SSO) ;
- accident Mont-Lozère-Lure (direction E/O) ;
- discontinuité grasse, bordure de l'ensemble Maures-Tanneron (direction ENE/OSO).

2.2.2 Ere secondaire

Ø Le Trias

Au Trias, la Provence fait intégralement partie du domaine germanique avec l'amorce d'une transgression marine, mais la fin de la période suggère une transition vers la mer alpine.

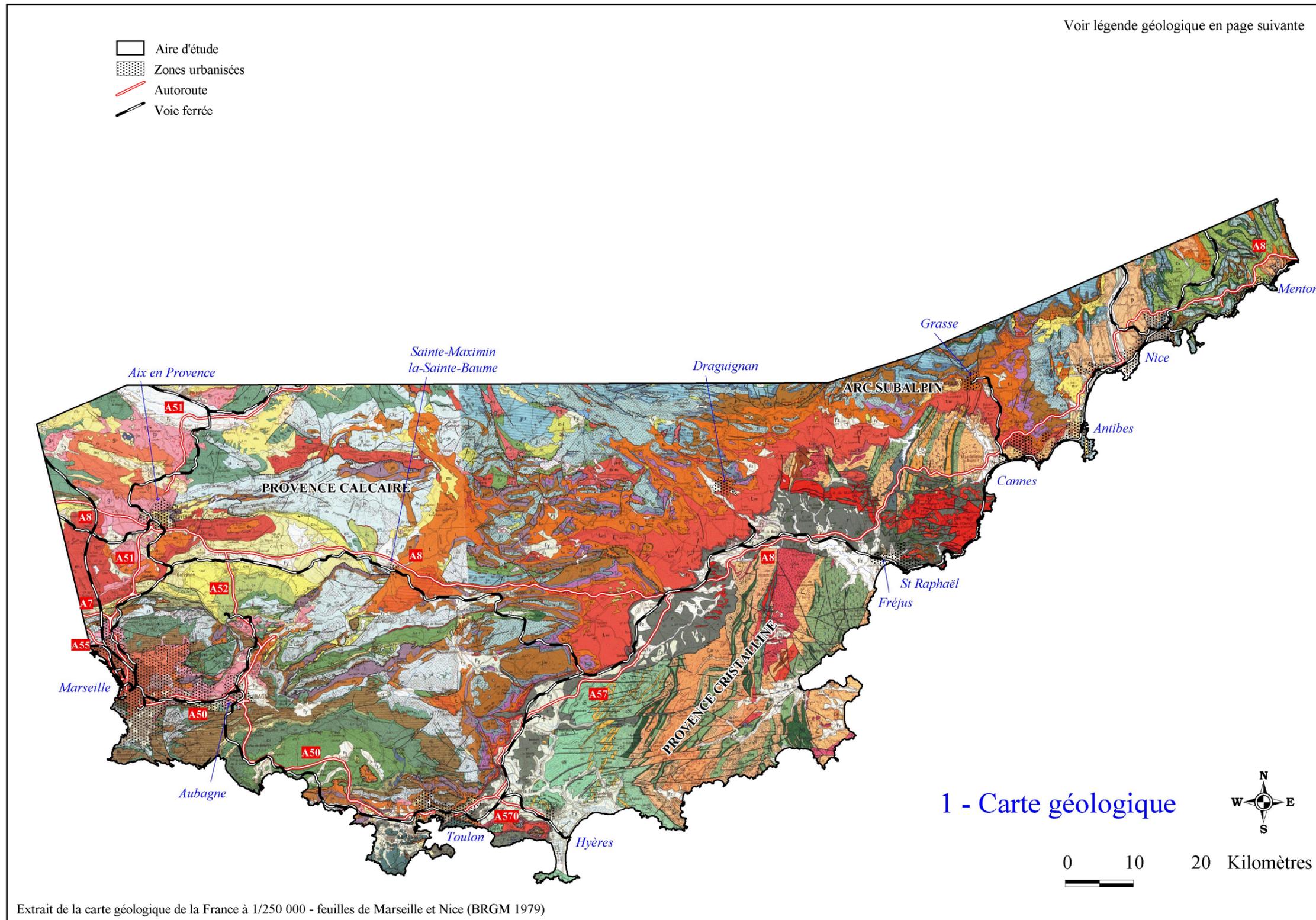
Le Trias inférieur (Buntsandstein) est encore continental ; il est constitué de dépôts conglomératiques, puis d'une série de grès arkosiques et psammitiques dans la continuité des dépôts permien issus du démantèlement de la chaîne hercynienne.

Le Trias moyen (Muschelkalk) est marqué par des faciès marins francs de plate-forme et des faciès lagunaires : alternance de séries calcaires, marneuses, dolomitiques et quelques fois salifères.

Au Trias supérieur (Keuper), le milieu sédimentaire perd son caractère marin franc et prend un caractère évaporitique. On note :

- à la base : des marnes, cargneules et gypses ;
- puis : des marnes à gypse, des argiles plastiques à enclave de lignite et des dolomies stratifiées ;
- en partie supérieure : des marnes gypseuses et des dolomies.

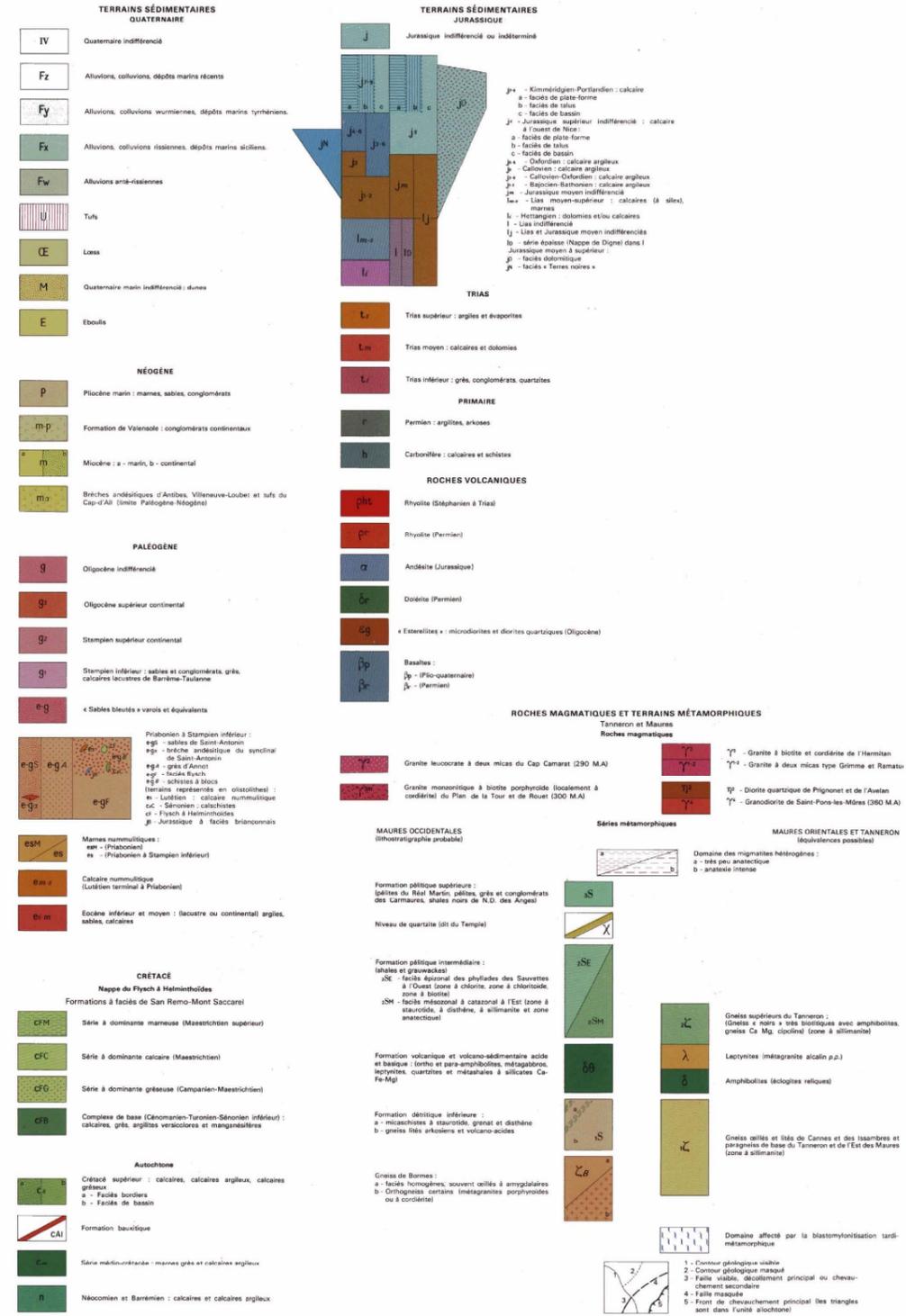
Le Trias terminal (Rhétien) est caractérisé à nouveau par des dépôts marins francs (marnes, dolomies et calcaires).



Carte géologique de la France à 1/250 000 - feuille de Marseille (BRGM 1979)



Carte géologique de la France à 1/250 000 - feuille de Nice (BRGM 1979)



Ø Le Jurassique

Durant le **Lias**, la sédimentation est marine et carbonatée (calcaires et marnes). A l'Ouest de la faille d'Aix-en-Provence, la subsidence entraîne le dépôt d'une puissante série, alors qu'à l'Est de cet accident, dans le domaine provençal, les dépôts sont beaucoup plus réduits, voire absents.

Le **Dogger** correspond à une augmentation de la bathymétrie ; les dépôts sont représentés par des calcaires, marnes et dolomies, toujours plus réduits vers l'Est.

Au **Malm**, la sédimentation devient franchement carbonatée à tendance coralligène au Sud et à l'Est (épaisseur : 500 m), alors qu'au centre et à l'Ouest, elle est pélagique avec des faciès marneux et des calcaires fins.

Ø Le Crétacé

Durant le Crétacé, la mer reste profonde à l'Est (mer alpine), mais les premiers mouvements annonciateurs de la formation des Pyrénées et des Alpes se font sentir.

Au **Crétacé inférieur**, la sédimentation est toujours carbonatée avec le développement de puissantes formations récifales (faciès urgonien, ex : massif des Calanques, Sainte Baume, Mont Faron).

C'est lors du **Crétacé moyen** que va intervenir l'immersion de la partie centrale de la plate-forme provençale. Durant cette phase, la plate-forme calcaire est soumise à l'érosion, et des dépressions karstiques se forment. Des formations d'altération argileuses s'y accumulent et se transforment en bauxite sous l'effet d'un climat tropical chaud et humide.

Simultanément, la sédimentation marine se poursuit dans la zone subalpine (arcs alpins de Castellane et de Nice) alors qu'au Sud (bassin du Beausset) s'intercalent des formations gréseuses.

A la **fin du Crétacé**, l'épisode orogénique maastrichtien provoque une phase de plissements qui ébauche les grands traits de la future région : plis et cassures créant un paysage au relief important ; les formations triasiques, argileuses et gypseuses, constituent les surfaces de décollement et remontent dans les cassures. L'érosion est très active sur les formations tendres.

La sédimentation devient lacustre dans la région d'Aix-en-Provence (bassin de l'Arc) et demeure marine à l'Est, dans la région de Nice.

2.2.3 Ere tertiaire

L'ère tertiaire est marquée par la surrection des Alpes et la mise en place de l'édifice structural actuel. Pour une meilleure compréhension des différentes phases, la Provence tertiaire est divisée dans ce qui suit en trois parties :

- la Basse Provence Occidentale,
- la région de Draguignan,
- le domaine subalpin.

Ø la Basse Provence Occidentale

A l'**Eocène**, la sédimentation lacustre et continentale se poursuit dans les bassins (synclinal d'Aix-en-Provence, bassin Nord-varois) par des dépôts fluviatiles argileux et calcaires (barre de Vitrolles, barre du Cengle).

Au **Lutétien inférieur**, intervient la phase majeure des plissements provençaux : les anticlinaux érigés pendant la phase fini-crétacée sont alors profondément entaillés par l'érosion, parfois jusqu'à leur cœur triasique. L'effet des poussées Nord-Sud provoque une tectonique tangentielle marquée par le décollement de la couverture provençale sur le socle permien et métamorphique au niveau du Trias, et entraîne un grand chevauchement vers le Nord « la grande nappe de recouvrement de la Basse Provence ». Cette nappe est constituée de trois unités principales : *l'unité de Bandol*, *l'unité du Beausset* et *l'unité de l'Arc*. Nous y reviendrons plus loin.

Durant l'**Oligocène**, la paléo-géographie provençale est exclusivement continentale. Dans le bassin de Marseille, se déposent des calcaires lacustres (calcaire de l'Estaque) et des argiles parfois sableuses et conglomératiques. Dans le bassin d'Aix-en-Provence, s'accumulent des calcaires, argilites, conglomérats puis la série gypseuse d'Aix-en-Provence. Dans le bassin Nord-varois, se superposent des dépôts calcaires et conglomératiques, d'une part, et des sables bleutés, d'autre part.

Le **Miocène** comprend une sédimentation marine à l'Ouest d'Aix-en-Provence et des faciès continentaux plus à l'Est dans le Var. On note une phase volcanique : basalte de Beaulieu (Aix-en-Provence), basalte d'Evenos (Ollioules) ; cet épisode est probablement lié à l'ouverture du bassin méditerranéen occidental.

Au **Plio-quatenaire**, la sédimentation marine donne lieu à des dépôts marneux (Aix-en-Provence) ou calcaire (Durance) avant de se retirer définitivement.

Des réajustements tectoniques entraînent des mouvements verticaux, chevauchements locaux et le jeu des accidents anciens (faille d'Aix-en-Provence notamment).

Ø La région de Draguignan

Durant l'**Eocène**, la sédimentation est continentale et lacustre (argiles rouges parfois gypsifères, calcaires et sables bleutés). La tectonique lutétienne provoque par ailleurs une structure complexe en raison de deux surfaces de décollement induisant une dysharmonie de plissement entre les deux niveaux calcaires du Muschelkalk : le calcaire supérieur plissé avec accumulation de formations gypsifères au cœur des plis (bourrage et diapirisme), et les calcaires inférieurs très faiblement inclinés (structure tubulaire).

Ø Le domaine subalpin

Durant l'**Eocène** et l'**Oligocène**, la sédimentation est continentale, lacustre ou lagunaire à l'Ouest du domaine (marne et gypse), alors qu'elle est principalement marine à l'Est (calcaire à nummulites et marnes bleues).

La tectonique tertiaire s'exprime par des chevauchements à la faveur de décollements au niveau des gypses du Trias qui conduisent à la formation de trois principales structures : l'arc de Castellane, puis, plus à l'Est, l'arc de Nice et l'arc de la Roya.

Au **Plio-quaternaire**, la mer régresse vers ses limites actuelles. Des argiles et poudingues se déposent dans les golfes qui constituent les basses plaines des cours d'eau actuels (ex : Var, Argens, Siagne).

2.2.4 Le Quaternaire

Au cours du Quaternaire, la Provence présente globalement le motif géomorphologique actuel. La sédimentation alluviale associée aux principaux cours d'eau et la morphologie littorale sont cependant fortement influencées par les épisodes de glaciation.

Cette influence s'exprime notamment par le dépôt de terrasses successives au niveau des vallées alluviales et par des cycles d'érosion/sédimentation en bordure littorale en liaison avec les variations du niveau marin (régressions-transgressions). Au Würm ancien en particulier, le niveau de la mer était à son point le plus bas et une érosion importante s'est produite, conduisant au creusement de profondes vallées littorales de type fjords ; le massif des Calanques de Marseille-Cassis en constitue le témoin le plus spectaculaire.

2.3 Les grands ensembles géomorphologiques

Il est fait renvoi dans ce qui suit à la planche 2 : Schéma structural donné en page suivante.

2.3.1 Les massifs cristallins

Comme vu plus haut, le socle cristallin constitue plusieurs massifs sur le littoral entre Toulon et Cannes. Ils sont rapidement décrits ci-après :

Ø Le massif des Maures

Orienté globalement Sud-Ouest/Nord-Est, il est principalement constitué de roches métamorphiques (schistes, micaschistes et gneiss) auxquelles sont associées des roches plutoniques de type granitique.

Les principales structures tectoniques sont orientées Nord-Sud recoupées par des cassures Est-Ouest.

Ø Le massif du Tanneron

Sa structure est similaire à celle du massif des Maures dont il est séparé par la vallée de l'Argens et le massif de l'Estérel. On y retrouve les mêmes lithofaciès, essentiellement des gneiss et des micaschistes.

Ø Le massif de l'Estérel

Il est constitué principalement de roches volcaniques permienes (rhyolites et dolérites) en association avec des grès et conglomérats de même âge. Les structures tectoniques y sont majoritairement orientées Est-Ouest.

Ø La presqu'île de Sicié

C'est une dépendance du massif des Maures ; elle est constituée de phyllades datées du Silurien. D'un point de vue structural, elle est rattachée à l'unité de Bandol, dont elle constitue le socle.

2.3.2 La dépression permienne

Disposée en auréole autour du massif des Maures, la dépression permienne forme un axe qu'empruntent les vallées de l'Argens et du Gapeau. Les terrains sont principalement constitués par des conglomérats, grès et pélites rouges. Dans le secteur de Vidauban, des séquences volcaniques (rhyolites) y sont intercalées.

2.3.3 Les infrastructures triasiques

Le Trias affleure sur de vastes étendues au sein de la Provence centrale et orientale ; il est marqué par des plissements complexes dans le Muschelkalk calcaire et présente des faciès chaotiques dans le Keuper par suite d'effets tectoniques intenses.

On différencie les unités suivantes (voir localisation en planche 2) :

- le massif de Flassans (dans ce massif, le calcaire du Muschelkalk est tabulaire et particulièrement karstifié),
- , l'arc de Carcès,
- f l'arc du Villard,
- „ la région Nord et Nord-est de Draguignan,
- ... l'arc de Barjols.

Ces unités correspondent aux témoins affleurants de la semelle de décollement des nappes de charriage provençales.

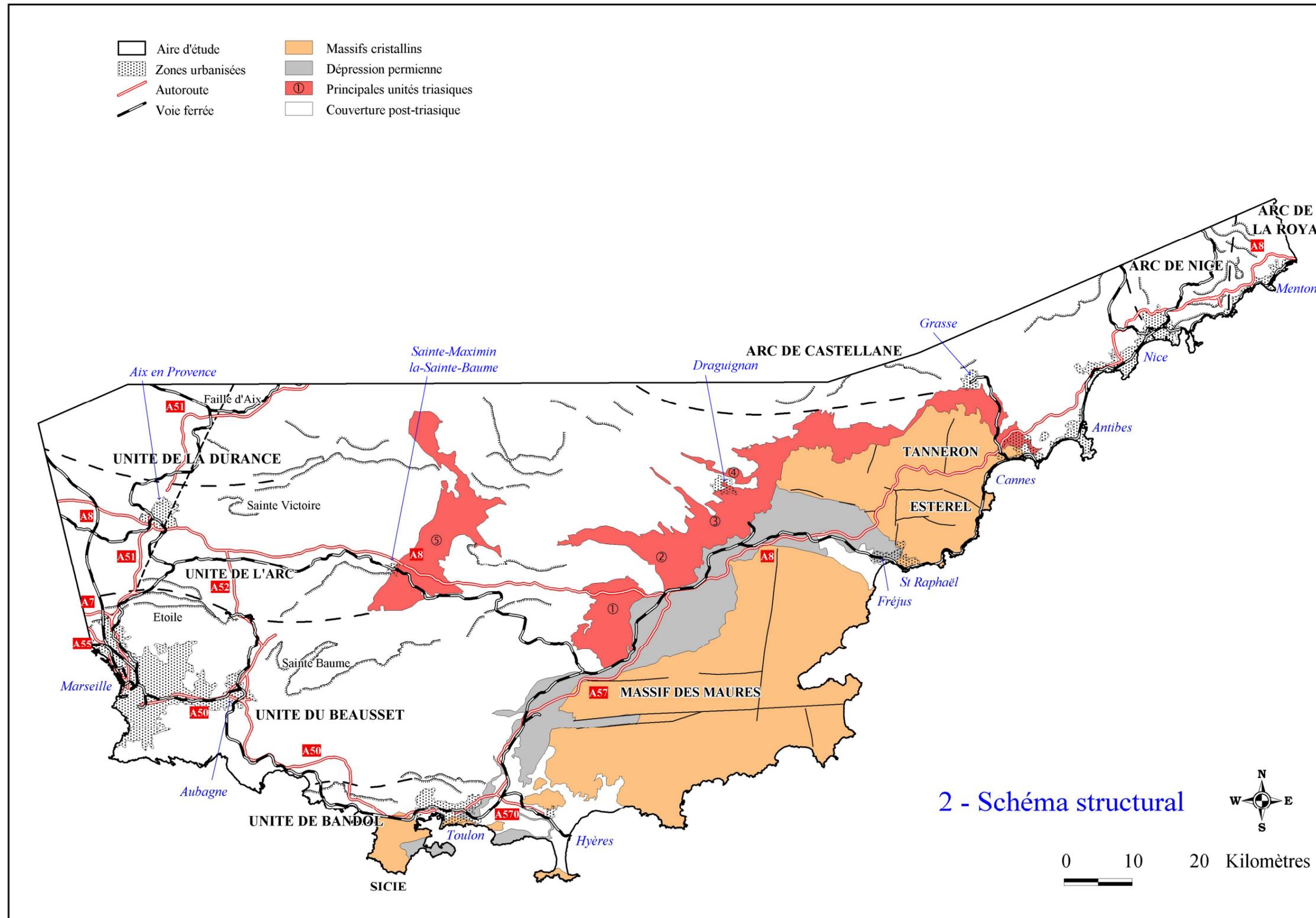
2.3.4 Les superstructures jurassiques

Dans la Basse Provence Occidentale, les superstructures jurassiques se répartissent suivant quatre ensembles chevauchants vers le Nord, grossièrement allongés Est-Ouest. Du Sud vers le Nord, on distingue les unités suivantes :

Ø Unité de Bandol

Elle surmonte les terrains primaires de la Presqu'île de Sicié ; sa bordure Nord, presque exclusivement triasique, chevauche les terrains crétacés de l'unité du Beausset.

Au Nord-Est du synclinal jurassique et triasique de Bandol, se développe une zone plissée et écaillée, constituée par plusieurs chaînons calcaires jurassiques ou urgoniens (Crétacé inférieur) orientés Est-Ouest ; ils constituent les chaînons toulonnais : Gros Cerveau, Croupatier, Mont Caume, Mont Faron, Coudon.



Ø Unité du Beausset

Elle comprend le bassin crétacé du Beausset à proprement parler et ses dépendances que sont la chaîne de la Sainte Baume, le bassin de Marseille et sa bordure montagneuse Nord (chaîne de l'Etoile). Au Sud, le bassin du Beausset se caractérise par une vaste cuvette synclinale où est entassée une grande épaisseur de formations périrécifales (grès, marnes, calcaires) avec une auréole externe de calcaire urgo-barrémien (massif du Douard, massif de Marseilleveyre-Puget dont les Calanques font partie).

Au Nord, le massif de la Sainte Baume constitue une structure particulière de chevauchement par une série allochtone appartenant à la même unité.

A l'Ouest, le bassin de Marseille, constitué de terrains oligocènes, est bordé par des reliefs calcaires jurassiques ou crétacés (Marseilleveyre, massif d'Allauch, chaîne de l'Etoile).

L'unité du Beausset est limitée vers le Nord par le front du « Chevauchement Sud Provençal » au-dessus de l'unité de l'Arc.

Ø Unité de l'Arc

Elle est comprise entre les chevauchements Sud Provençal et Nord Provençal. Le synclinal de l'Arc est constitué par les formations marno-calcaires et gréseuses du Crétacé supérieur ; celles-ci sont recouvertes, à l'Ouest, par les formations tabulaires de marnes rouges et calcaires éocènes du plateau de l'Arbois et de la Montagne Cengle, et, dans le bassin d'Aix-en-Provence, par les séries argilo-sableuses oligocènes.

La Montagne Sainte Victoire constitue une structure complexe chevauchante vers le Nord sur l'unité de la Durance, et vers le Sud sur le bassin de l'Arc.

Ø Unité de la Durance

Au Nord du front Nord Provençal, la couverture secondaire de l'unité de la Durance est masquée par d'abondants dépôts tertiaires. La tectonique s'exprime ici par quelques chevauchements internes, résultant de poussées tardives s'exerçant vers le Sud. La Durance y a développé une large vallée alluviale.

2.3.5 Les chaînes subalpines

Au Nord de la Provence cristalline et dans la région niçoise, s'étendent les chaînes subalpines de Haute Provence.

Il s'agit de plis affectant la couverture secondaire et tertiaire qui offrent l'allure d'arcs successifs : arc de Castellane, arc de Nice et arc de la Roya.

Ø Arc de Castellane

Il s'allonge entre Sisteron et le fleuve le Var, formant un faisceau de plis convexes dont le sommet est situé dans le secteur de Castellane : plissements de direction Nord-Sud à l'Ouest de Castellane, et Est-Ouest au Sud.

La partie externe de l'arc comprend, de l'Ouest vers l'Est, une région de plateau calcaire tabulaire (zone des plans du Verdon), puis un ensemble de dômes et fossés découpés par des failles Nord-Sud et enfin dans l'arrière pays de Grasse une série de chevauchements orientés Est-Ouest, régulièrement espacés.

Ø Arc de Nice

Il est constitué par une couverture secondaire et tertiaire affectée par des mouvements tangentiels de grande ampleur liés au décollement sur le Trias gypsifère sous-jacent.

Les formations carbonatées jurassiques constituent l'ossature des chaînons (dalles chevauchantes), ainsi que des écaïlles qui font extrusion dans les formations plus tendres.

L'arc de Nice est formé par un ensemble que l'on peut décliner en trois faisceaux d'écaïlles empilées en périphérie d'une vaste zone synclinale crétacé supérieur située au centre de la concavité :

- le faisceau occidental de direction Nord-Sud,
- le faisceau littoral de direction Est-Ouest,
- le faisceau oriental de direction Nord-Sud.

Ø Arc de la Roya

Il est caractérisé par une structure comparable à celle de l'arc de Nice, mais moins complexe avec seulement deux chaînons jurassiques et trois synclinaux tertiaires orientés Nord-Ouest/Sud-Est à Nord Nord-Ouest/Sud Sud-Est.

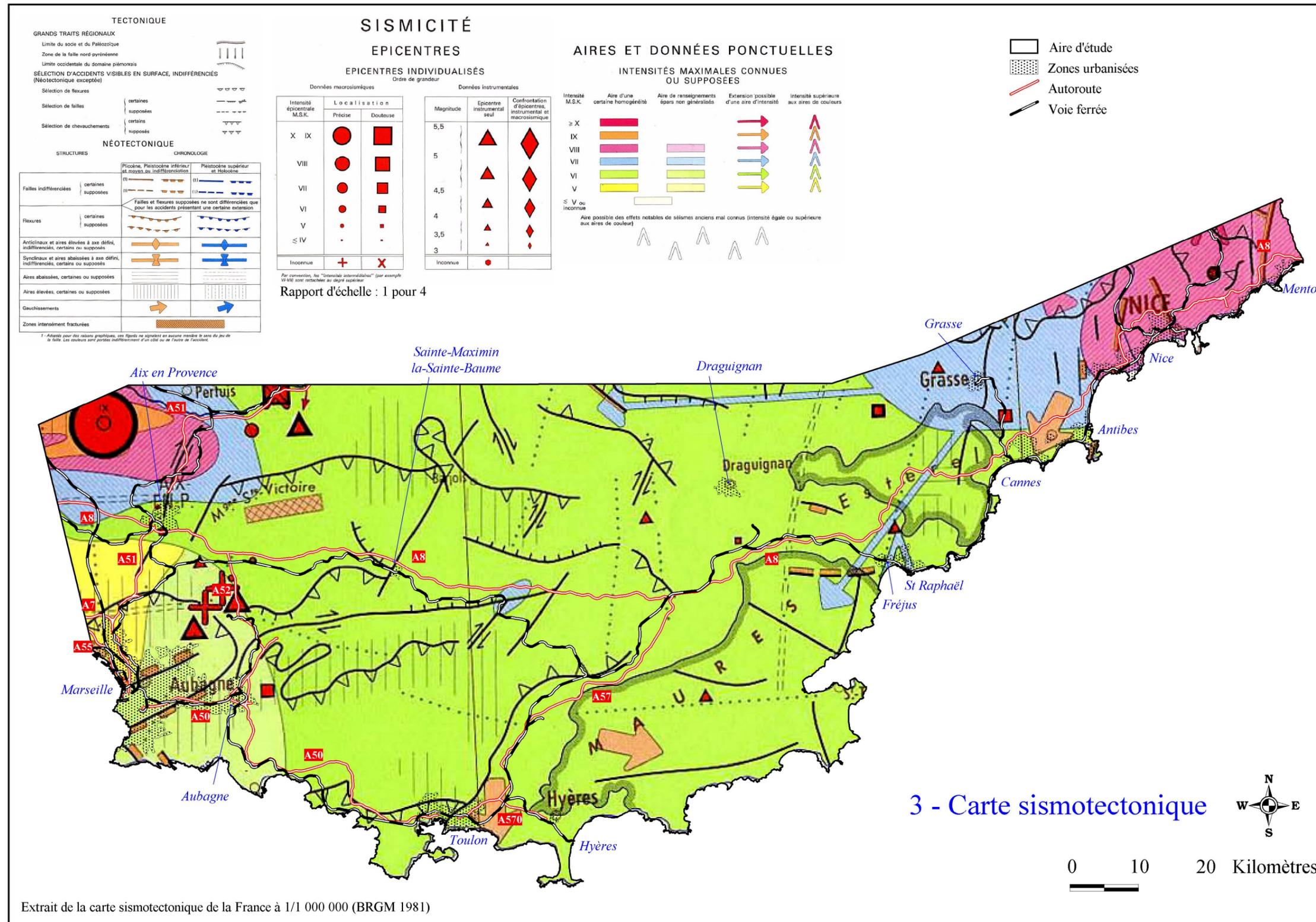
2.4 Contexte structural et sismotectonique actuel

Il fait renvoi ici à la planche 3 : Carte sismotectonique donnée en page suivante.

L'organisation structurale de la Provence résulte d'une évolution géodynamique complexe, débutant au Crétacé moyen, dont les différents épisodes cinématiques (alternance de déformations compressives et extensives) demeurent encore mal connus dans le détail.

Actuellement, le motif néotectonique de la Provence est globalement gouverné par un système en compression NE-SW lié, à la fois, à la surrection des Alpes et à la dynamique d'ouverture, en Méditerranée, du Bassin Liguro-Provençal. En Provence orientale, ce système s'exprime par un « front alpin » correspondant aux arcs de Castellane et de Nice/Roya ; en Provence occidentale, une rampe latérale NNE-SSW correspondant à la faille d'Aix et de la moyenne Durance transfère ce front de près de 90 km vers le Sud, jusqu'au chaînon E-W de la Trévaresse (site du séisme de Rognes-Lambesc de 1909). Ce chaînon serait le témoin en surface d'un accident crustal profond fonctionnant en faille inverse à vergence Nord.

C'est selon ces éléments structuraux que s'accommode aujourd'hui l'essentiel des réajustements tectoniques.



L'activité sismotectonique liée à ces mouvements se traduit ainsi par la présence de deux zones à risque sismique élevé :

- la première zone se situe entre Aix-en-Provence et Salon-de-Provence et se poursuit par la vallée de la Durance (intensité M.S.K. IX) ;
- la seconde zone correspond à la région de Nice avec un risque plus élevé dans l'arrière-pays (Haute-Vésubie) et s'étend sur le littoral de Menton jusqu'à Grasse (intensité M.S.K. VIII).

D'après l'annexe au Décret n° 91-461 du 14 mai 1991 relative à la prévention du risque sismique, cette activité conduit à une répartition du territoire d'étude en zones de sismicité, dont les contours reprennent les limites administratives des cantons, où les caractéristiques sismiques (fréquence et intensité des séismes notamment) sont considérées homogènes. Ce zonage sismique est repris en planche 4 page suivante.

2.5 Lithostratigraphie synthétique

Dans ce qui suit, sont listés les faciès caractéristiques des principales formations lithostratigraphiques en présence.

2.5.1 Terrains primaires

Ø Terrains métamorphiques (Maures, Tanneron, Sicié)

Principalement : gneiss, schistes et phyllades.

Occasionnellement : amphibolite, leptynite, micaschiste, quartzite.

Ø Terrains plutoniques (Maures, Tanneron)

Granodiorite, granite, diorite quartzique.

Ø Terrains volcaniques permien (Estérel)

Rhyolite, dolérite, estérellite.

Ø Terrains sédimentaires

- Stéphanien : poudingues, grès, schistes noirs bitumineux-charbonneux.
- Permien : conglomérats, grès, arkose, pélites gréseuses.

2.5.2 Terrains secondaires

Au titre d'illustration, des colonnes stratigraphiques sériées de la Provence calcaire sont présentées en page 14 ci-après.

Ø Trias

Ž Trias inférieur (Buntsandstein) : conglomérats, grès grossiers, grès arkosiques, psammite (épaisseur de 20 à 80 m) ;

Ž Trias moyen (Muschelkalk) : dolomies, marnes dolomitiques parfois gypsifères (épaisseur de l'ordre de 100 m), puis calcaires et dolomies (épaisseur environ 50 m) ;

Ž Trias supérieur (Keuper) : marnes, gypse, anhydrite, argiles bariolées, dolomies, cargneules. L'ensemble de la formation, très tectonisé, se présente souvent en amas chaotiques (l'épaisseur peut atteindre une centaine de mètres) ;

Ž Trias terminal (Rhétien) : calcaires, marnes, pélites, dolomies (épaisseur maximale 50 m).

Ø Jurassique

Ž Lias : dolomies, calcaires et marnes (épaisseur de 50 à 150 m).

Ž Dogger : marnes, calcaires marneux, calcaires et dolomies (épaisseur maximale environ 300 m).

Ž Malm :

- Kimmeridgien : calcaires micritiques ou récifaux au Sud et à l'Ouest (épaisseur de 30 à 150 m), marnes, marno-calcaires et calcaires au Nord et à l'Est (l'épaisseur peut atteindre 500 m) ;

- Portlandien : dolomies et calcaires massifs (peu épais au Sud, il peut atteindre 500 m au Nord).

Ø Crétacé

Ž Crétacé inférieur

- Barrémien : calcaires, calcaires argileux à marneux (épaisseur de 25 à 300 m augmentant vers le Nord) ;

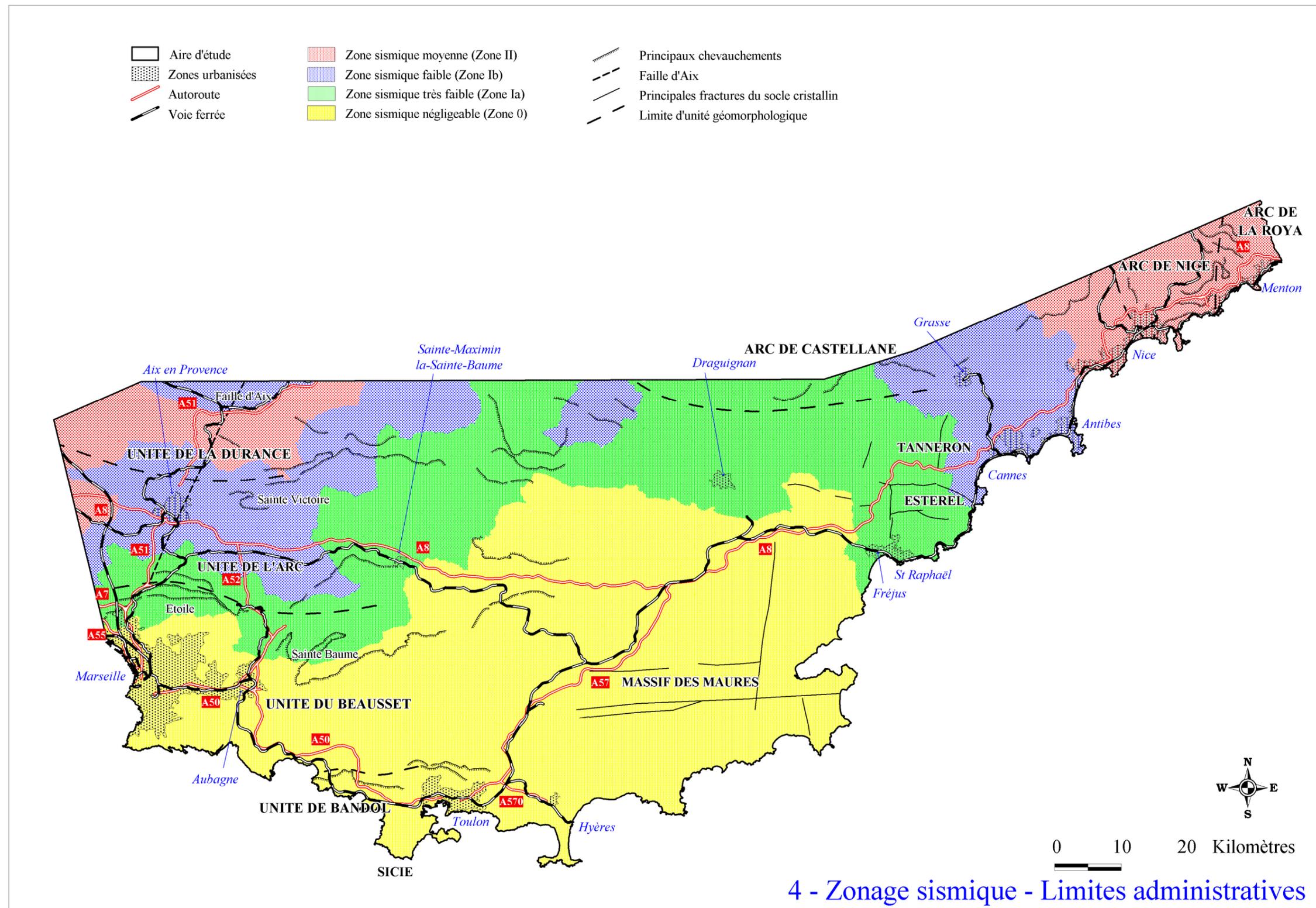
- Valanginien : marno-calcaires, calcaires (épaisseur de 100 à 250 m augmentant vers le Nord) ;

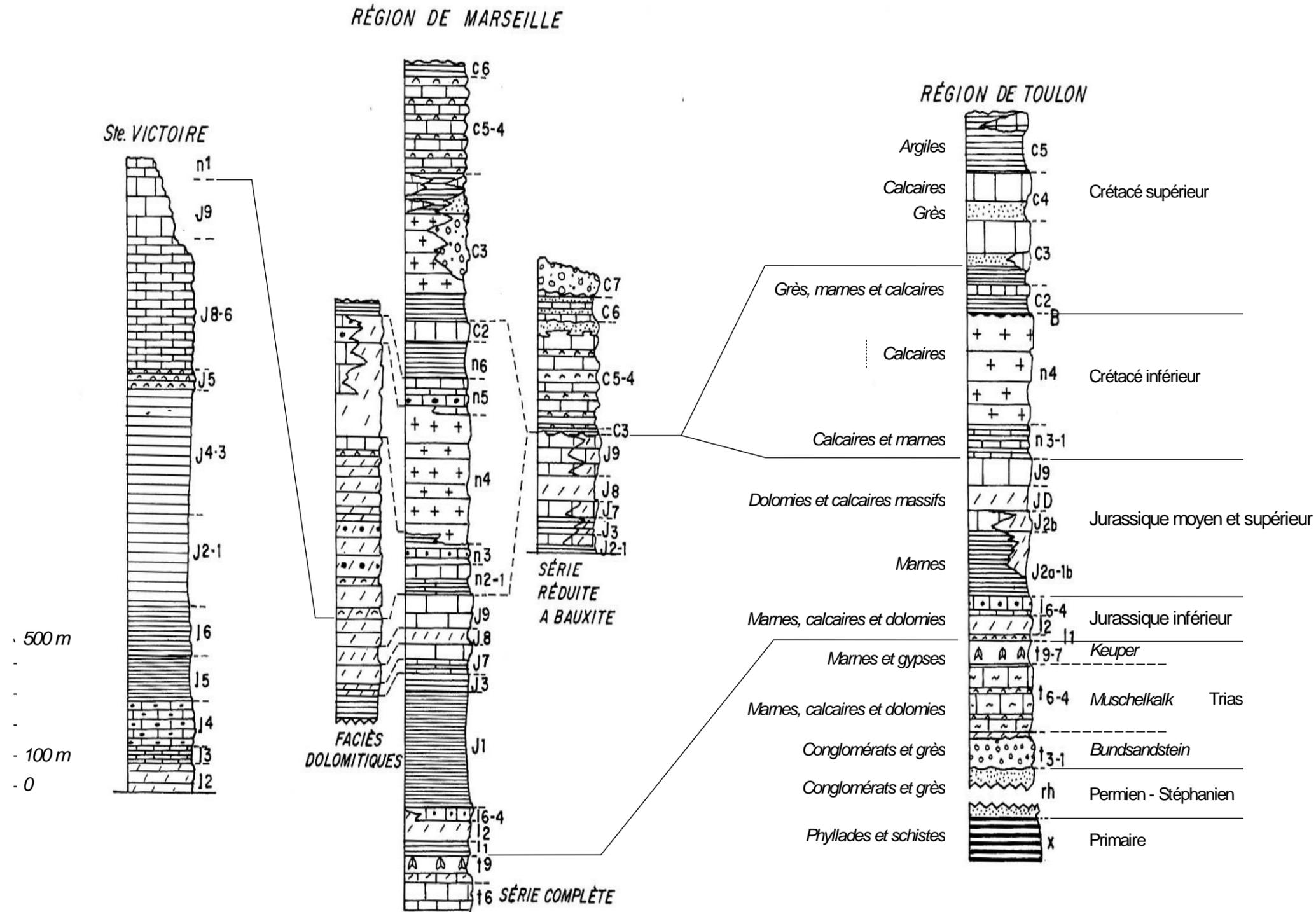
- Hauterivien : calcaires, marnes, marno-calcaires (épaisseur de 100 à 250 m augmentant vers le Nord),

- Barrémien (Provence calcaire) : calcaires récifaux (faciès urgonien) à marneux (épaisseur de 200 à 300 m) ;

- Bédoulien : calcaires argileux à marneux riches en silex (épaisseur de 70 à 250 m) ;

- Albien : calcaires noirs, grès, calcaires gréseux, marnes (épaisseur inférieure à 100 m).





Ž Crétacé supérieur

En Provence

- Cénomaniens : sables, grès, marnes, calcaires récifaux (épaisseur maximale 200 m) ;
- Turonien : calcaires récifaux, grès, marnes sableuses (épaisseur maximale 380 m) ;
- Coniacien – Santonien : grès, marnes gréseuses, calcaires à rudistes (épaisseur maximale 400 m) ;
- Valdo-Fuvélien : calcaires, argiles, lignite (épaisseur maximale 300 m) ;
- Maastrichtien : calcaires, argiles, grès, poudingues, brèches (épaisseur maximale 400 m).

En domaine subalpin

- Calcaires et marno-calcaires (épaisseur de 200 à 800 m).

2.5.3 Terrains tertiaires

Ø Eocène

- Ž Eocène inférieur : calcaires, marnes, argiles, sables, poudingues (épaisseur maximale 350 m) ;
- Ž Eocène moyen et supérieur : calcaires et marnes (épaisseur de l'ordre de 150 m) ;

Ø Oligocène

- Ž Oligocène inférieur et moyen : argiles, calcaires, dolomies, sables, poudingues, brèches, gypse lignite (épaisseur maximale 450 m) ;
- Ž Oligocène supérieur : calcaires, marnes et conglomérats (épaisseur maximale 1 000 m).

Ø Mio-pliocène

- Ž Miocène : brèches, conglomérats, grès, marnes, limons (épaisseur maximale de 300 m) ;
- Ž Pliocène : poudingues, sables, argiles, marnes.

2.5.4 Terrains quaternaires

- Alluvions anté-rissiennes : cailloutis ;
- Alluvions rissiennes : galets et graviers ;
- Alluvions wurmiennes : cailloutis, graviers et limons ;
- Alluvions récentes : galets, cailloutis, sables argileux, limons plus ou moins organiques à vasards.

2.6 Éléments sur les contextes hydrogéologiques

Dans le cadre de cette étude sur l'environnement géologique global de la région PACA, les informations hydrogéologiques présentées reposent sur les caractéristiques générales liées aux grands types de terrains en présence.

2.6.1 Les massifs cristallins

Les formations volcaniques, magmatiques ou métamorphiques possèdent de faibles ressources générales en eau souterraine. Les circulations d'eau sont liées principalement à la fracturation de la roche, et ponctuellement, au droit des accidents tectoniques, les débits peuvent être plus importants car les failles jouent le rôle de drains.

2.6.2 Le domaine calcaire

Les formations calcaires et dolomitiques du Muschelkalk, du Jurassique et du Crétacé inférieur se caractérisent par des systèmes hydrogéologiques de type karstique, liés à la dissolution des carbonates. La ressource en eau y est généralement importante, les circulations d'eau se font à la faveur du réseau karstique dont le développement a été guidé par la fracturation et la structure de la roche.

2.6.3 Les formations du Crétacé supérieur et du Tertiaire

Ces formations sont constituées d'une alternance de niveaux calcaires, marneux et argileux. Cette configuration stratifiée induit un système hydrogéologique globalement peu productif : les terrains pouvant potentiellement constituer des réservoirs sont compartimentés par des terrains peu perméables à imperméables.

Des contextes locaux peuvent néanmoins s'avérer plus propices et constituer des ressources exploitables.

2.6.4 Le Trias gypseux

Les formations d'argiles à gypse fournissent des terrains peu perméables et présentent un risque de dissolution des niveaux gypseux pouvant créer localement un réseau pseudo-karstique (karst gypseux). A la faveur de la tectonique, ces terrains présents au sein des chevauchements peuvent représenter des « pièges hydrogéologiques » en étanchant des formations calcaires aquifères.

2.6.5 Les alluvions quaternaires

Les formations alluviales (graves, sables) constituent les principales ressources aquifères de la région. Ces terrains sont de bons réservoirs et les nappes sont généralement bien alimentées par les rivières.

En bordure littorale, ces aquifères sont cependant en relation directe avec l'eau de mer, si bien que leur exploitation justifie une gestion rigoureuse, voire des aménagements spécifiques, pour éviter la pénétration des eaux salées dans la nappe alluviale.

3. INVENTAIRE DES CONTRAINTES GÉOLOGIQUES D'AMÉNAGEMENT

La diversité de l'environnement géologique de la Provence, combinée à une topographie au relief marqué, crée de multiples contraintes vis-à-vis d'un projet d'aménagement de ligne ferroviaire à grande vitesse.

Parmi ces contraintes, certaines relèvent de risques naturels, c'est-à-dire d'un contexte géologique particulier présentant - par lui-même - un risque d'instabilité de terrain, alors que d'autres relèvent davantage de données de conception des aménagements, à prendre nécessairement en compte afin que la stabilité et la pérennité du projet soient garanties.

L'inventaire des contraintes géologiques d'aménagement, présenté dans ce qui suit, reprend cette distinction, et fait renvoi à la planche 5 : Principales contraintes géologiques, donnée en page suivante.

A noter que les risques liés à l'activité anthropique (ex : risques liés à la présence de vides miniers), déjà traités dans le dossier général de présentation de l'état initial, ne sont pas repris ici.

3.1 Les risques naturels associés aux mouvements de terrain

3.1.1 Risques liés aux formations karstiques

Les formations carbonatées (calcaires et dolomies) sont très sensibles à la dissolution par les eaux météoriques chargées en gaz carbonique. Le phénomène se traduit par le développement d'un modelé karstique au sein des massifs calcaires qui s'exprime à la fois par des formes de surface (*exokarst* : lapiaz, relief ruiniforme, dolines, vallées sèches, entonnoirs d'absorption, gouffres – avens, grottes, etc.), et par la présence d'un réseau de cavités souterraines (*endokarst* : boyaux, salles, cheminées de dissolution, etc...) actif ou non selon que le réseau recèle des circulations d'eau ou pas.

C'est notamment vis-à-vis de la présence de cavités que l'environnement karstique est susceptible de présenter un risque naturel, en particulier lorsque le cavernement est superficiel, induisant un risque d'effondrement.

Toutes les formations carbonatées sont susceptibles de présenter un développement karstique, mais dans le secteur d'étude, il s'agit principalement des calcaires et dolomies du Crétacé inférieur et du Jurassique, formant les principaux reliefs du domaine provençal, et, dans une moindre mesure, les formations carbonatées du Trias moyen (ex : zone de Flassans), qui présentent les formes les plus évoluées.

En particulier, le secteur Signes-Néoules dans le Var est réputé pour ses réseaux souterrains visitables développés dans les assises jurassiques, par ailleurs très fracturées ici.

3.1.2 Risques d'instabilité lié aux formations argileuses

Les formations marneuses, argileuses et évaporitiques (argiles bariolées à gypse et anhydrite) présentent un risque de fluage et de gonflement qui peut entraîner des instabilités de versants et des glissements de terrains. Ces formations sont bien représentées dans le Tertiaire (marnes bleues du Pliocène et de l'Eocène, marnes, argiles et gypse de l'Oligocène), dans le Crétacé supérieur argileux et le Trias supérieur évaporitique (Keuper).

Les zones à risques sont représentées par l'Oligocène à l'Ouest d'Aix-en-Provence, et surtout par les formations argileuses de l'Eocène en bordure du plateau du Cengle au Sud de la montagne Sainte Victoire. Les versants y sont tapissés d'anciens glissements de terrain dont certains sont encore actifs aujourd'hui.

Sur les pentes des reliefs niçois, des placages d'éboulis en limite de stabilité surmontent localement des terrains argileux ; le déclenchement de glissements de terrain est généralement associé ici à des périodes de fortes précipitations.

3.1.3 Risques liés au Trias gypseux

Les formations évaporitiques (anhydrite et gypse) présentent, d'une part, un risque d'instabilité de terrain dû au gonflement et au fluage entraînant des glissements sur les pentes, et, d'autre part, un risque d'effondrement résultant des phénomènes de dissolution du gypse (karst gypseux).

L'ensemble de la formation du Trias supérieur (Keuper) présente ce risque, mais c'est probablement le secteur de Fayence-Montauroux, où des effondrements spectaculaires se sont produits par le passé, qui revêt le degré d'acuité le plus aigu.

A noter que cette formation peut affleurer directement ou être recouverte par des alluvions en fond de vallée ou encore se trouver sous la forme d'amas chaotiques au cœur des plis et chevauchements par l'effet de la tectonique.

3.1.4 Aléa sismique

L'activité néo-tectonique alpine provoque des phénomènes de réajustement au sein de l'écorce terrestre qui se traduisent par une activité sismique relativement importante dans le secteur de l'étude par rapport au reste de la France métropolitaine.

Les deux zones identifiées comme étant les plus actives sur le plan sismotectonique (cf. § 2.4 ci avant) sont, d'une part, la région de Nice (activité liée à la surrection du Mercantour-Argentera), et, d'autre part, la région au Nord-Ouest d'Aix-en-Provence (activité liée à la faille d'Aix et de la moyenne Durance).

Au sens du Zonage Sismique de la France, ces régions sont classées en zone II, c'est-à-dire que :

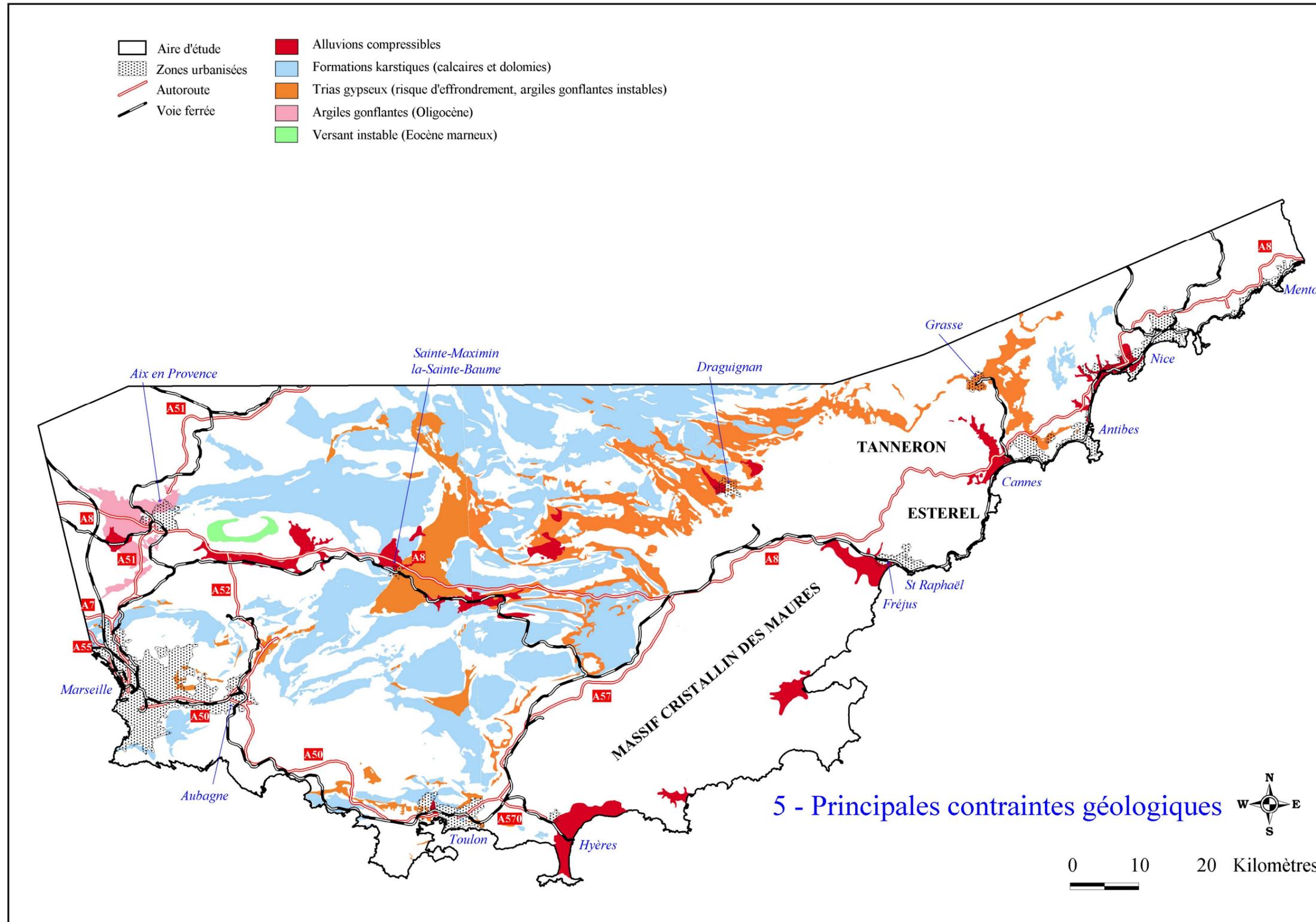
- soit un séisme d'intensité MSK supérieure à IX y a été observée historiquement,
- soit les périodes de retour de secousses d'intensités supérieures ou égales à VIII et à VII sont respectivement de 250 et 75 ans.

Il est fait renvoi à la planche 4 ci avant pour la représentation cartographique du zonage sismique du territoire d'étude.

3.1.5 Autres risques non cartographiés

Il s'agit notamment des risques d'instabilités rocheuses (éboulements, chutes de blocs), fréquents dans la région en raison du relief et de l'état souvent tectonisé de la roche.

Ces risques sont cependant liés à des contextes topographiques et géologiques très localisés (présence de surplombs, de couloirs trajectographiques, d'une fracturation défavorable, etc.) qu'il n'est pas possible de représenter à l'échelle cartographique du présent dossier, et qui nécessitent des études spécifiques ciblées pour être évalués de façon fiable. Ces risques devront être considérés lors des étapes ultérieures des études en fonction des contextes d'aménagement projetés.



3.2 Contraintes géotechniques de conception

3.2.1 Franchissement des zones compressibles

Les sols compressibles correspondent généralement à des dépôts récents (quaternaire) argilo-limoneux mous, souvent organiques (présence de tourbe et de débris végétaux), dont les caractéristiques de résistance mécanique sont faibles, induisant des tassements et des déformations sous l'effet des sollicitations apportées par les aménagements (remblai, fondations des ouvrages d'art).

Ces sols se rencontrent principalement dans les vallées alluviales à faible pente, dans des zones marécageuses actuelles ou anciennes et au débouché des vallées en bordure littorale.

Compte tenu des spécifications techniques propres aux LGV – en matière de tolérances géométriques notamment – la construction de remblais en zones compressibles nécessite toujours de prévoir des dispositions constructives particulières visant à maîtriser les déformations.

Ces dispositions sont de deux ordres :

- soit les sols compressibles sont peu épais (ép. ≤ 4 m), auquel cas leur substitution est envisageable,
- soit ils se développent sur des épaisseurs importantes et des techniques spéciales sont alors nécessaires : accélération de la consolidation par drainage vertical, préchargement, construction phasée des remblais, amélioration des sols d'assise par colonnes ballastées ou injections solides, etc.

Concernant les ouvrages d'art, les sols compressibles justifient de prévoir des fondations profondes sur pieux afin de reporter les sollicitations sur des sols de meilleures caractéristiques portantes.

3.2.2 Traversée des zones karstiques

En surface, les zones karstiques sont souvent exposées aux risques d'effondrement de cavités souterraines ; cependant, la reconnaissance des secteurs sensibles à ce type de risques est rendue possible aujourd'hui par des méthodes géophysiques et par forages ; il est alors procédé à des ajustements de tracé visant à éviter ces secteurs, ou bien des traitements spéciaux sont entrepris afin d'éliminer les risques.

Les problèmes géotechniques les plus sensibles concernent surtout les travaux de creusement de tunnels qui, dans les zones karstiques, sont susceptibles d'être interrompus par des incidents tels que fluage d'argiles de décalcification, effondrement et désagrégation de la roche (surtout dans les zones dolomitiques) liés à la fois à des venues d'eau en charge et à des phénomènes de décompression. Ces événements ont toujours des conséquences considérables sur les coûts et sur les délais de construction.

A titre d'exemple, de tels problèmes ont été rencontrés lors du creusement d'un tunnel dans des formations dolomitiques du Jurassique à Roquebrussanne (Var) et ont nécessité la mise en œuvre de technique de congélation.

Le creusement d'un tunnel dans un massif karstique peut aussi se trouver confronté à des problèmes liés à l'existence de vastes cavités nécessitant la réalisation d'un viaduc souterrain pour les franchir (exemple : galerie du Canal de Provence sous la Sainte Victoire).

La maîtrise des aléas liés aux karsts lors du creusement des tunnels nécessite une parfaite connaissance du massif à traverser afin de prévoir les techniques d'excavation/soutènement adaptées aux différents contextes attendus. Cette connaissance est à acquérir lors des études de projet, et au fur et à mesure du creusement par la réalisation à l'avancement de forages horizontaux en avant du front.

3.2.3 Terrassements en terrains argileux et évolutifs

Les formations argileuses ou marneuses sont sujettes à des phénomènes d'instabilité. Les terrassements devront faire l'objet d'études spécifiques visant à préciser les conditions de stabilité et de drainage des aménagements (assise de remblai, talus de déblai).

Lorsqu'ils sont fortement plastiques, ces matériaux, sensibles à l'eau, devront généralement être mis en dépôt ; leur réemploi éventuel en remblai ne pourra être envisagé qu'à l'appui d'études spécifiques.

Dans les formations gypsifères du Trias, la réutilisation des déblais en remblai est à proscrire compte tenu des risques d'évolution (gonflement – dissolution). Par ailleurs, les fondations des ouvrages nécessiteront le plus souvent la réalisation de pieux afin de prendre assise sur des calcaires ou des dolomies. Dans les secteurs les plus gypsifères, il faudra s'assurer par des reconnaissances détaillées préalables que les phénomènes de dissolution ne présentent pas de risque.

Les argiles gonflantes de type smectite, présentes notamment dans certains faciès du Trias supérieur et de l'Oligocène, possèdent la propriété de varier de volume en fonction de leur teneur en eau. Ce comportement entraîne un risque de déformation différentielle pour les terrassements (déblai ou remblai) incompatible avec les prescriptions techniques d'une ligne à grande vitesse. Il faudra alors envisager de purger en partie ou en totalité ces matériaux gonflants et d'assurer leur protection et/ou leur confinement.

Par ailleurs, la présence d'argiles gonflantes impose des dispositions constructives spécifiques pour les tunnels, notamment le renforcement de leur structure.

3.2.4 Traversée souterraine des dislocations tectoniques

Les spécificités de la tectonique provençale induisent des contraintes fortes sur la conception et sur les conditions d'exécution des aménagements, notamment pour la réalisation des ouvrages souterrains. En effet, comme nous l'avons vu ci avant, les principales structures de la couverture sédimentaire secondaire (plissements, chevauchements, écaillages) sont liées au décollement de la série sur la formation gypsifère du Trias qui injecte les surfaces de charriage et de cisaillement, et crée des accumulations chaotiques au cœur des structures plissées.

La traversée souterraine de ces zones de dislocation structurales revêt nécessairement des difficultés d'exécution car :

- d'une part, les déformations tectoniques donnent lieu à un milieu fortement hétérogène où l'établissement d'un modèle géologique prévisionnel revêt toujours de multiples incertitudes,
- d'autre part, les terrains présents au niveau de ces dislocations cumulent les problèmes de stabilité, notamment :
 - tenue à court terme des terrains broyés,
 - présence de vides de dissolution dans les amas gypseux et au contact des calcaires (karsts),
 - risques de venues d'eau en charge dans des matériaux fragilisés par le broyage tectonique pouvant provoquer des déboulements plus ou moins violents,
 - rémanence des contraintes tectoniques pouvant perturber les comportements à court terme et différé des matériaux,
 - présence de terrains susceptibles de gonflements (faciès du Keuper : argiles barriolées à smectites, anhydrite).

Ces difficultés justifient de prévoir des méthodes d'exécution adaptées faisant appel à des techniques spéciales qui majorent fortement les coûts de construction et pénalisent les délais de réalisation.

3.2.5 *Prise en compte de l'aléa sismique*

L'action sismique est une donnée de conception réglementaire à prendre en compte dans le dimensionnement des ouvrages d'une infrastructure LGV (ouvrages d'art et ouvrages en terre). Les protocoles et procédures applicables en la matière sont donc bien définis et ne posent pas de problèmes de conception en règle générale.

Toutefois, à la faveur de contextes locaux particuliers plus défavorables, la justification des aménagements au séisme peut conduire à des modélisations complexes et à des surdimensionnements importants des ouvrages, avec un effet direct sur le coût de construction.

Cette remarque s'applique notamment à la région niçoise où se conjuguent des versants à fortes pentes, des terrains de natures et de comportements variés (effets de sites, risque de liquéfaction des sols...) ainsi que des sollicitations sismiques fortes.

3.3 **Tableau de synthèse**

Le tableau donné en page suivante présente une synthèse des principales contraintes d'aménagement à prendre en compte pour la réalisation de la LGV en fonction de la géologie.

Il s'agit à ce stade d'une approche très en amont des difficultés techniques, destinée à apprécier l'ordre de grandeur du coût de l'opération ; cette approche devra être développée lors des étapes ultérieures du projet.

-----oOo-----

| CONTEXTE GEOLOGIQUE | | | CONTRAINTES ET ENJEUX TECHNIQUES | | | |
|---------------------|--|---|---|--|--|--|
| Ere | Stratigraphie | Formation / Faciès | Contraintes géotechniques | Terrassement | Tunnel | Ouvrage d'art |
| Quaternaire | Récent | Alluvions : limons sablo-graveleux, limons vasards | Sols compressibles Risque de tassement | Matériaux impropres à une réutilisation | Traitements spéciaux et soutènement lourd (prévoûte et cintres) | Fondations profondes |
| | Ancien | Alluvions : grave silteuse, cailloutis, éboulis | Instabilité de versants (éboulis) | Taux de réutilisation élevés | Soutènement lourd (cintres + prévoûte localement) | Fondations profondes à semi-profondes |
| Tertiaire | Pliocène | Conglomérats | - | Extraction par ripage ou explosif | Soutènement léger (boulonnage) | Fondations superficielles |
| | | Marnes bleues | Instabilité de versant | Faibles taux de réutilisation | Soutènement lourd (cintres) | Fondations semi-profondes à profondes |
| | Miocène | Conglomérats | - | Extraction par ripage ou explosif Taux de réutilisation élevés | Soutènement léger par boulonnage | Fondations superficielles |
| | Oligocène | Grès | - | Extraction par ripage ou explosif Taux de réutilisation élevés | | |
| | | Marnes, argiles, gypse | Argiles gonflantes, évolutives Instabilité de versant | Matériaux impropres à une réutilisation | Soutènement lourd (cintres lourds + prévoûte) | Fondations profondes |
| | Eocène | Marnes bleues, argiles rouges | Instabilité de versant | Faibles taux de réutilisation | Soutènement lourd (cintres) | Fondations profondes |
| Calcaires compacts | | - | Extraction à l'explosif Ressource en matériaux | Soutènement léger par boulonnage | Fondations superficielles | |
| Secondaire | Crétacé supérieur | Marnes, marno-calcaires, grès | Instabilité de versant (marnes) Risque minier (lignite) | Extraction par ripage et explosif localement Taux de réutilisation moyens | Soutènement par cintres lourds et prévoûte localement | Fondations superficielles possibles |
| | Crétacé inférieur | Calcaires, dolomies | Risque de karsts (moyen à fort) | Extraction à l'explosif Ressource en matériaux | Soutènement léger à dense par boulonnage. | Fondations superficielles possibles |
| | | Bauxite | Risque minier (bauxite) | Matériaux impropres à une réutilisation | Traitements spéciaux au droit des karsts. | Fondations à proscrire |
| | Jurassique | Calcaires, dolomies | Risque de karsts (fort) | Extraction à l'explosif Ressource en matériaux | Prévoûte et cintres lourds au droit des accidents tectoniques. | Fondations superficielles |
| | | Marnes | Formations évolutives | Faibles taux de réutilisation | Soutènement dense à lourd par cintres | Fondations superficielles à semi-profondes |
| | Trias supérieur : <i>Keuper</i> | Argilites, marnes, gypse, anhydrite | Instabilité de versant Risque d'effondrement (vides de dissolution du gypse) Argiles gonflantes, évolutives | Matériaux impropres à une réutilisation | Traitements spéciaux et soutènement lourd (prévoûte et cintres) | Fondations profondes + traitement du terrain |
| | Trias moyen : <i>Muchelkalk</i> | Calcaires, dolomies | Risque de karsts (moyen à fort) | Extraction à l'explosif Taux de réutilisation élevés | Soutènement léger à dense par boulonnage. Traitements spéciaux au droit des karsts. | Fondations superficielles possibles |
| | Trias inférieur : <i>Buntsandstein</i> | Conglomérats, grès | - | Extraction à l'explosif Ressource en matériaux | | Fondations superficielles |
| Primaire | Permien | Grès, arkoses et pélites | - | Extraction par ripage ou explosif Taux de réutilisation élevés | Soutènement léger par boulonnage Cintres en zones fracturées | Fondations superficielles possibles |
| | | Rhyolites, dolérites | - | Extraction à l'explosif Ressource en matériaux nobles | | Fondations superficielles |
| | Stéphanien | Conglomérats, grès, pélites, niveaux charbonneux | Risque minier (houiller) | Extraction par ripage ou explosif Taux de réutilisation variables | Soutènement léger à lourd (boulonnage, cintres localement) | Fondations superficielles possibles |
| | Massifs cristallins | Gneiss, micaschistes, leypinites, amphibolites, granite | Risque minier (fluorine,...) | Extraction majoritairement à l'explosif Taux de réutilisation élevés | Soutènement léger par boulonnage Soutènement lourd par cintres au droit des zones tectonisées | Fondations superficielles |