



HAL
open science

Étude et classification des failles potentiellement actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (France) implications sur l'évaluation de l'aléa sismique

Monique Terrier

► **To cite this version:**

Monique Terrier. Étude et classification des failles potentiellement actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (France) implications sur l'évaluation de l'aléa sismique. Archéosismicité et Tsunamis en Méditerranée IXes Rencontres du Groupe APS, 6-8 décembre 2010, Cagnes-sur-mer, Groupe APS, pp.37-55, 2012. hal-00772126

HAL Id: hal-00772126

<https://brgm.hal.science/hal-00772126v1>

Submitted on 10 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Groupe APS

Association pour l'identification et l'étude des pathologies d'origine sismique dans le bâti ancien

ARCHÉOSISMICITÉ

&

Tsunamis en Méditerranée

Approches croisées

Ouvrage collectif coordonné par
Isabelle RÉBÉ-MARICHAL, André LAURENTI
Isabelle BOEHM et Jean-Philippe GOIRAN



Groupe APS

Centre archéologique Rémy Marichal,
Oppidum de Ruscino, Château Roussillon, F-66000 Perpignan
Tél. : 00 33 [0]4 68 67 47 17
Courriel : groupeaps@free.fr

UMR 5133 - Archéorient et UMR 5189 - HiSoMA
Maison de l'Orient et de la Méditerranée - Jean Pouilloux
7 rue Raulin, F-69365 Lyon Cedex 7

Copyright 2012 Groupe APS

ISBN : 978-2-9515025-5-0

Imprimé en France
Dépôt légal : décembre 2012

ARCHÉOSISMICITÉ

&

Tsunamis en Méditerranée

Approches croisées

Archéosismicité et Tsunamis en Méditerranée

Actes des IX^e Rencontres du Groupe APS, 6-8 décembre 2010, Cagnes-sur-mer

3. Étude et classification des failles potentiellement actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (France)

implications sur l'évaluation de l'aléa sismique

Monique TERRIER*

Résumé

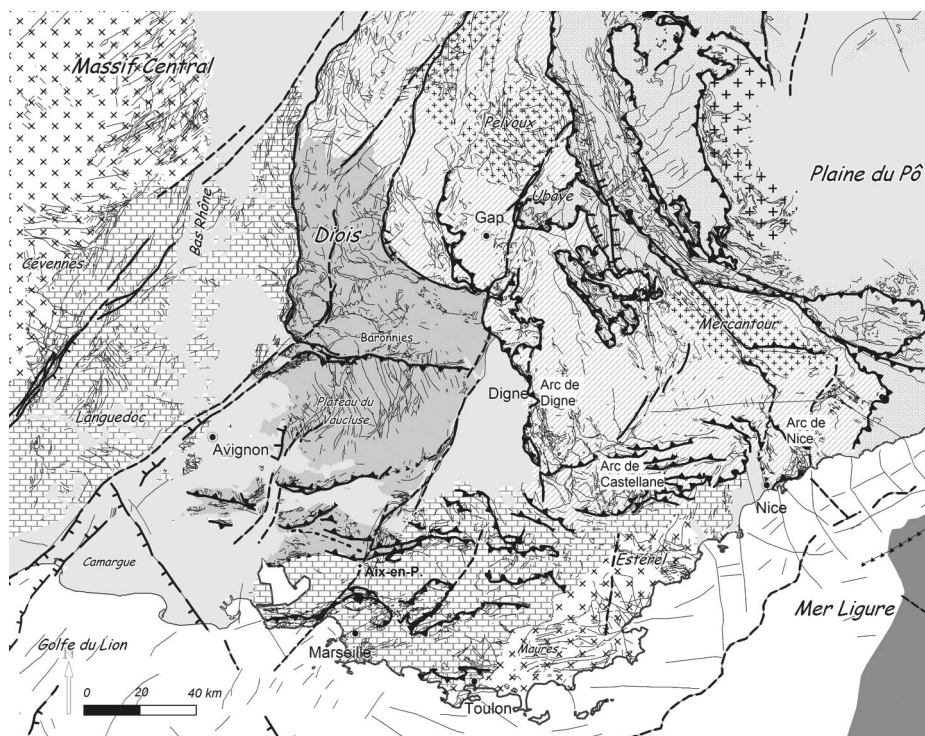
Une étude d'identification et de classification des failles potentiellement actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur a été réalisée. La démarche mise en œuvre repose sur l'état des connaissances actuelles ainsi que sur le choix et la pondération des critères d'activité et de fiabilité établis par jugement d'expert. Les failles sont classées selon 4 niveaux d'activité et 3 niveaux de connaissances régionales. Suite à cette classification, des études spécifiques ont été menées sur quelques failles classées parmi les plus actives (failles de la Trévaresse, Aix-Eguilles, Salon-Cavaillon, Ubaye – Haute Durance). D'ores et déjà, des avancées notables ont été apportées à l'évaluation de l'aléa sismique tant à l'échelle régionale que locale.

1. CONTEXTE

L'activité sismique et tectonique du Sud-Est de la France est étroitement liée au contexte géodynamique du domaine méditerranéen. Zone d'affrontement des plaques africaine et eurasiennne, convergentes entre elles suivant une direction globalement Nord-Sud, ce mouvement date depuis environ 70 millions d'années. On estime que la vitesse moyenne de convergence de ces plaques est actuellement de 1 cm/an en Méditerranée occidentale, alors qu'elle atteindrait près de 3 cm/an dans la partie Est. La métropole française est située dans un domaine de collision continentale. Les mouvements tectoniques actuels enregistrés en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) sont hérités de la dernière phase orogénique alpine fini tertiaire, à l'origine de la mise en place de l'arc alpin et des chaînes subalpines (figure 1). En comparaison aux régions de la Méditerranée centrale et orientale, la sismicité y est cependant relativement diffuse et de niveau modéré (peu de séismes de magnitude supérieure à 5 y sont localisés). Néanmoins, la région PACA est une des régions où le risque sismique est le plus élevé de la métropole française. La base nationale de sismicité historique SisFrance (BRGM, EDF, IRSN) y recense depuis le xv^e siècle plusieurs séismes d'intensité MSK égale ou supérieure à VIII (figure 2). Or, parmi les nombreuses failles qui structurent la région, certaines failles sont actives, d'autres ne le sont plus. En outre, parmi les failles actives, toutes n'ont pas le même potentiel sismogène (taux de déformation, magnitude maximale, période de retour).

Dans le but, d'une part, d'améliorer l'évaluation de l'aléa sismique de la région PACA et d'autre part, de constituer un document d'aide à la décision pour la prise en compte du risque sismique (composante faille active) dans les projets d'aménagement, une étude

* BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 Orléans Cedex 2, FRANCE.



Traits gris fins: failles secondaires, Traits noir épais, failles majeures limitant des domaines structuraux

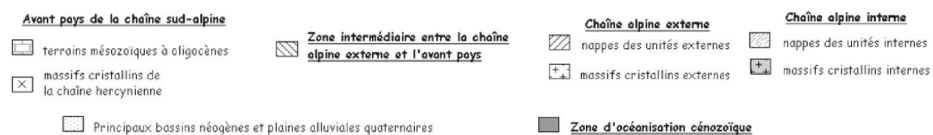


Figure 1 - Schéma structural de la Provence, d'après l'interprétation de la carte géologique de la France à 1/1000000 (édit. BRGM).

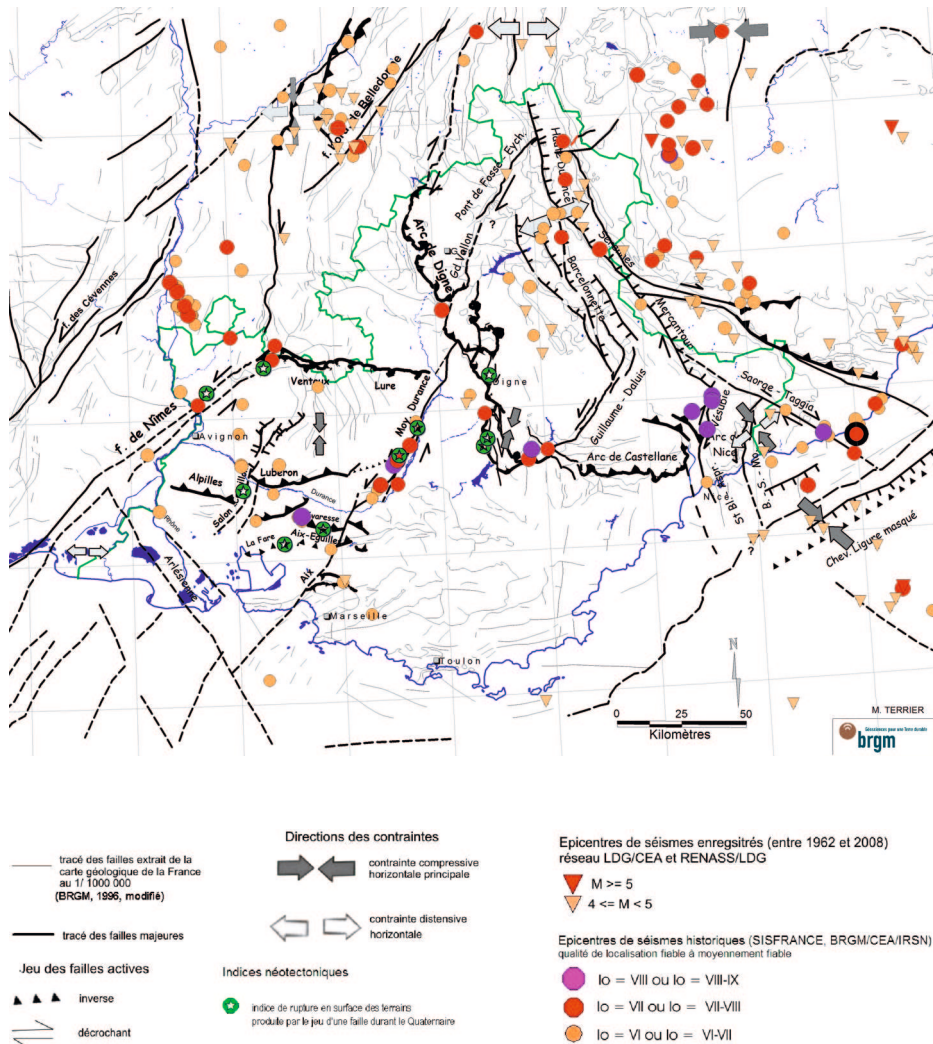


Figure 2 - Carte des séismes et des principales failles de la région PACA.

d'identification et de classification des failles potentiellement actives a été réalisée (Terrier, 2002, 2004, 2006) avec:

- 1) une synthèse des connaissances néotectoniques et sismotectoniques relatives à la région PACA;
- 2) l'identification des failles a priori actives, et, pour chacune d'elles, la réalisation d'une fiche de renseignement (cartographie, cinématique actuelle, évolution géodynamique, indices néotectoniques, sismicité associée, géométrie);
- 3) la réalisation d'une carte sismotectonique régionale à l'échelle du 1/250 000;
- 4) la classification des failles, selon une approche multicritère (figure 2).

Parmi les méthodes de classification des failles actives, on cite plus particulièrement celles de :

- a) Slemmons et Mc Kinney (1977), laquelle distingue des degrés croissants d'activité des failles en fonction des périodes de récurrence des forts séismes et des discontinuités morphologiques engendrées ;
- b) Blès *et al.* (1991), très simplifiée et à l'origine développée pour être appliquée au territoire français, elle tient compte uniquement des relations directes établies entre les failles avec les épacentres de séismes ou les ruptures en surface récentes ;
- c) Kerr *et al.* (2004), appliquée dans le cadre d'étude de planification et d'aménagement en Nouvelle Zélande, elle tient compte de l'intervalle de récurrence des ruptures en surface des failles ainsi que de la complexité et du niveau de connaissance cartographique des failles.

Plus généralement, les méthodes mises en œuvre aujourd'hui, soit restent très sommaires (faille active capable/sismogène/lente, faille potentiellement active, faille inactive), soit sont applicables uniquement pour les territoires soumis à une déformation tectonique élevée (vitesse de mouvement des failles de l'ordre du mm à cm par an), avec une classification des failles en fonction de leur vitesse de mouvement ou de la période de récurrence des forts séismes.

Or, la métropole française est caractérisée par une déformation tectonique faible à modérée, avec des vitesses de mouvement annuel d'ordre infra millimétrique. Les connaissances sur la sismicité des failles ou leur jeu tectonique récent sont peu nombreuses. Il a donc été nécessaire de développer une méthode de classification des failles actives adaptée à des contextes sismotectoniques faibles à modérés tel que celui de la région PACA.

Suite à cette classification régionale, des études complémentaires ont ensuite été réalisées au niveau de certaines failles classées parmi les plus actives, afin :

- 1) dans un premier temps, de préciser leur cartographie et leur activité durant les différentes phases tectoniques ;
- 2) dans un second temps, de préciser leur place dans le cadre géodynamique actuel du Sud-Est de la France.

2. COMPILATION ET STRUCTURATION DE LA CONNAISSANCE

2.1 Choix des failles

Dans le cadre de cette étude, il n'était pas possible de réaliser une synthèse des connaissances pour chaque accident cartographié au niveau de la région. Par contre il était trop restrictif de se limiter aux seuls accidents connus pour une activité tectonique quaternaire ou pour leur relation avec des événements sismiques. Le choix a donc été pris de réaliser une synthèse des connaissances pour chaque système faillé majeur présentant des indices d'activité sismique ou bien d'activité tectonique au cours de la période non seulement Quaternaire mais aussi durant la dernière phase alpine mio-pliocène (depuis -11Ma environ, Miocène supérieur). Il a aussi été vérifié que toutes les failles citées dans les modèles sismotectoniques de la région proposés jusqu'à aujourd'hui (dont : Ritz 1991 ; Terrier 1991 ; Blès *et al.* 1992 ; Grellet *et al.* 1993 ; Combes, Grellet 1995 ; Blès *et al.* 1998), faisaient partie de la sélection.

In fine c'est donc 70 failles ou systèmes de failles qui ont été retenus. Parmi celles-ci, certaines sont plus actives que d'autres. À partir des renseignements collectés, il s'agissait alors de les classer en fonction du niveau d'activité pressenti.

2.2 Compilation des connaissances

Les documents consultés s'élèvent à environ une cinquantaine de thèses et DEA, près de 200 publications et une soixantaine de cartes géologiques et notices à 1/50 000. L'analyse bibliographique consistait à préciser : l'origine et la qualité des informations sur le tracé des failles, mais aussi, la connaissance en profondeur de la faille, la déformation dans la couverture, les indications sur les déformations actuelles (tectonique, morphologie, GPS, autres) ou leur activité sismique.

2.3 Structuration des informations sous la forme de fiches descriptives

À partir des différents supports cartographiques (géologie, MNT, catalogues de sismicité, images satellites, oro- et hydrographie, linéaments) et de la bibliographie rassemblée, une synthèse des connaissances sous la forme de fiche descriptive a été réalisée pour chaque faille majeure. Chaque fiche descriptive est constituée :

- 1) d'une carte spécifique de l'accident (tracé 1/250 000, 1/50 000, autre) ;
- 2) de planche(s) d'illustrations (coupe, photo, schéma) ;
- 3) d'une table d'information avec en colonnes pour chaque champ thématique, le niveau de fiabilité estimé et l'origine de la donnée (références bibliographiques).

Les différents champs thématiques concernent :

- a) la connaissance cartographique (d'après les cartes géologiques au 1/250 000 et 1/50 000, et autres publications) ;
- b) la caractérisation structurale anté quaternaire de l'accident ;
- c) les déformations tectoniques quaternaires ;
- d) la sismicité associée, et mécanisme(s) au foyer ;
- e) un bilan géodynamique :
 - âge du dernier mouvement connu ou supposé ;
 - nature du dernier mouvement connu ou supposé ;
 - segmentation ;
 - longueur ;
 - extension en profondeur ;
 - pendage du plan ;
 - direction moyenne ;
 - largeur de la zone de faille.

2.4 Cartographie des failles

Elle s'appuie sur les 4 cartes géologiques à 1/250 000 (feuilles de Gap, Valence, Marseille, Nice). Au niveau des failles majeures retenues pour la classification régionale, cette cartographie a en outre été corrigée ou complétée sous SIG en tenant compte des

cartes géologiques à 1/50 000 ou d’autres publications. Les données cartographiques sont structurées dans le SIG Map Info. Chaque segment de failles est renseigné par les champs : origine de la donnée (référence bibliographique), niveau d’incertitude correspondant (tracé connu, supposé, hypothétique), importance par rapport au système faillé (principale, secondaire), nom de la faille principale, nom du segment, âge du dernier jeu tectonique connu, nature du mouvement.

La carte des failles à 1/250 000 a été complétée par les données de sismicité instrumentale et historique ainsi que par les résultats des mécanismes au foyer des séismes relevés dans les publications. Les ruptures en surface d’âge quaternaire localisées dans la région PACA font aussi l’objet d’un fichier intégré au SIG. L’ensemble de ces informations a conduit à l’établissement d’une carte sismotectonique régionale à l’échelle du 1/250 000.

Les zones d’incertitude du tracé des failles retenues pour la classification sont indiquées sous la forme de fichier spécifique intégré au SIG.

3. CLASSIFICATION DES FAILLES ACTIVES

Les connaissances actuelles des failles potentiellement actives de la région PACA sont insuffisantes pour permettre une comparaison de leur potentiel sismogène basée sur une analyse de type probabiliste (relation sismicité/faille) ou déterministe (taux de déformation, récurrence des forts séismes). La classification des failles potentiellement actives de la région PACA suit une démarche multicritère basée sur la pondération des données factuelles et leur combinaison. Le choix et la pondération des critères d’activité et de fiabilité sont fixés par jugement d’expert. La matrice de classification tient compte à la fois des informations relatives au niveau d’activité des failles mais aussi de la qualité et fiabilité des connaissances correspondantes. La démarche peut être décomposée en 5 étapes successives (figure 3).

3.1 Choix des critères pour la classification, synthèse des connaissances

Les connaissances sur les failles rassemblées précédemment sous la forme de fiches descriptives sont synthétisées sous la forme d’un tableau (étape 1, figure 3) qui sera utilisé lors des étapes 2 et 3 suivantes. Des informations sont apportées sur la qualité et la géométrie du tracé de la faille. En outre, parmi les différents champs d’informations, les différents critères d’activité retenus concernent :

- a) âge des formations les plus jeunes affectées par des déformations tectoniques dues au mouvement de la faille ;
- b) indices néotectoniques déduits de techniques indirectes telles que les mesures de la morphologie, géophysiques, satellitaires, de comparaison de logs de forages, etc. ;
- c) expression morphologique du relief de faille ;
- d) corrélations avec des séismes historiques ou instrumentaux.

3.2 Évaluation factuelle multicritère du niveau d’activité

Tous les critères n’ont pas la même valeur par rapport à l’expression de l’activité de la faille. Nous avons exprimé cette différence en accordant, a priori, des poids spécifiques à chaque type de critères en fonction de sa nature et de la fiabilité correspondante. Pour

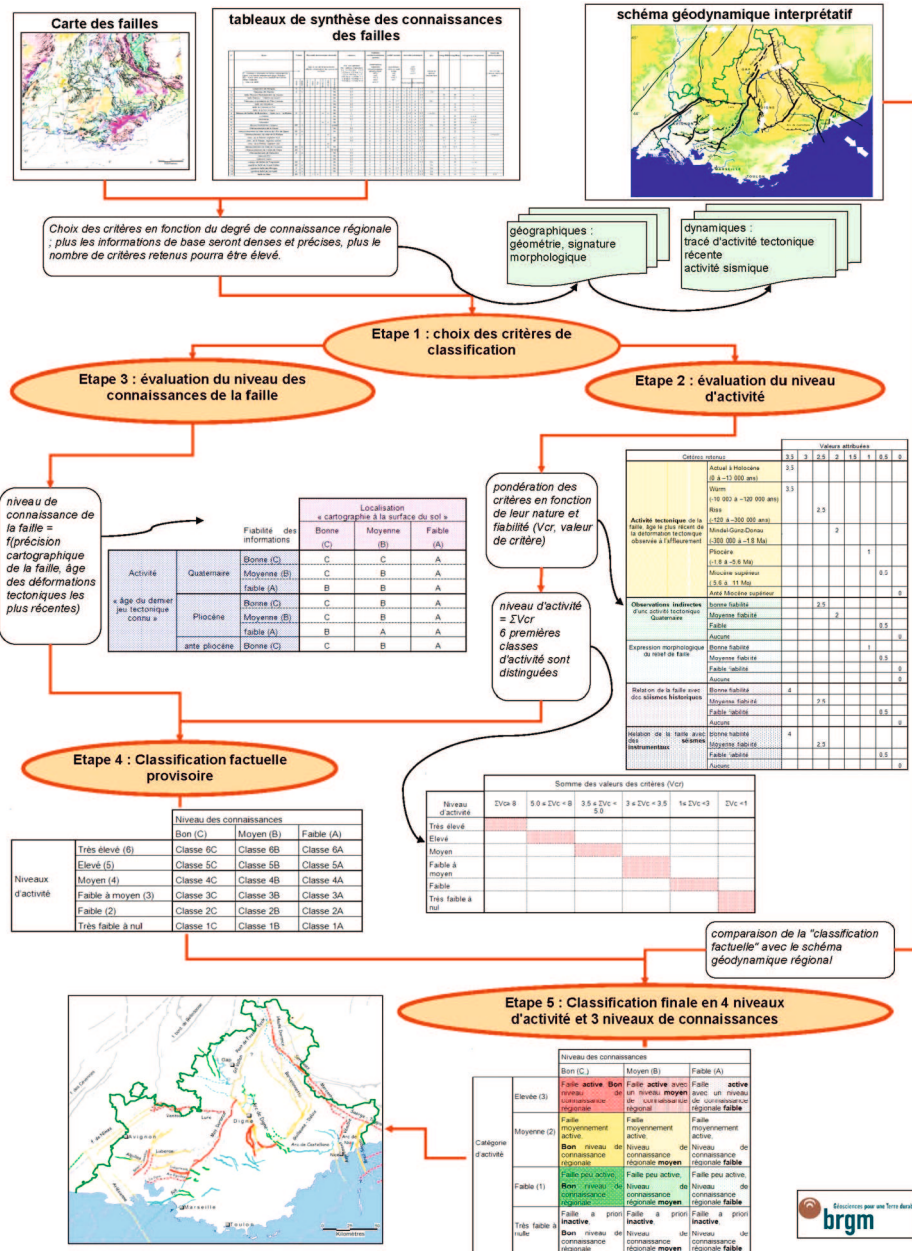


Figure 3 - La démarche de classification des failles actives appliquée à la région PACA (Terrier 2006).

chaque faille, la somme des valeurs des informations pondérées donne une première estimation du niveau d'activité. Basées uniquement sur les données factuelles, six classes d'activité ont été provisoirement distinguées (étape 2, [figure 3](#)).

3.3 Évaluation du niveau de connaissances

Au niveau d'une région, la connaissance sismotectonique n'est généralement pas homogène. Certaines failles sont mieux « décelables » que d'autres. Certaines ont pu faire l'objet d'investigations particulièrement riches d'enseignements. Il convient donc, dans les critères à retenir pour l'établissement de cette classification, de se soucier aussi du niveau de connaissances auquel est associé le « diagnostic » d'activité de la faille. Concernant le niveau de connaissances, nous avons considéré à la fois les informations sur la cartographie de la faille, mais aussi sur les indications néotectoniques. Cette évaluation est considérée à une échelle régionale (de l'ordre du 1/250 000), trois classes ont été retenues (étape 3, [figure 3](#)):

- C (bonne), information relativement précise à l'échelle régionale, renseignée par des observations directes et précises de la déformation ;
- B (moyenne), information déduite d'une interprétation du contexte régional, et reliée à des observations indirectes et bien renseignées de la déformation ;
- A (faible), information déduite uniquement d'une interprétation du contexte régional.

3.4 Classification factuelle multicritère provisoire

Une première classification est réalisée en fonction des 6 niveaux d'activité et 3 niveaux de connaissances précédemment cités (étape 4, [figure 3](#)). Le nombre élevé de niveaux d'activité doit aider à l'ajustement final de la classification lors de la comparaison avec le schéma géodynamique.

3.5 Comparaison avec le schéma géodynamique actuel et finalisation de la classification

Lors de la première phase de l'étude, en plus du travail de compilation et structuration des connaissances sur chaque faille, une interprétation de l'ensemble de ces données complétées par d'autres informations à caractère plus régional (géologiques, néotectoniques, sismiques, géophysiques, etc.) a été conduite et permis de proposer un schéma géodynamique actuel de la région PACA. Ce dernier est considéré comme un paramètre supplémentaire pour l'évaluation de l'activité des failles.

La classification provisoire en 6 classes d'activité et 3 niveaux de connaissance comparée au schéma géodynamique actuel permet de vérifier la cohérence des résultats, voire exceptionnellement d'ajuster le classement de certaines failles. Ainsi, certaines failles ont a priori un niveau d'activité plus faible en se basant uniquement sur les observations bibliographiques que ce à quoi l'on pourrait s'attendre si l'on tient compte aussi du modèle de déformation actuel (failles des Costes, du Grand Vallon, faisceau du Poil, par exemple). Inversement, d'autres failles paraissent au contraire disposer d'un niveau d'activité plus fort que celui a priori attendu (par exemple, faille de l'Étoile, partie nord de l'arc de Digne, système de failles de Grand Vallon).

Le niveau d'activité de certaines failles peut être augmenté ou diminué selon la place de ces dernières dans le schéma géodynamique régional. Ce «réajustement» de la classification basé sur le modèle de la déformation actuelle est un moyen de pallier au problème d'hétérogénéité des connaissances régionales, à savoir lacune pour certaines failles ou, au contraire, beaucoup d'informations sur d'autres failles (ce qui dans ce dernier cas entraîne un «surpoids» dans l'évaluation du niveau d'activité de ces failles).

Finalement, la classification est simplifiée (étape 5, [figure 3](#)) en 3 niveaux de connaissances régionales et 4 grandes classes d'activité (3-élevé, 2-moyen, 1-faible, 0-nul à négligeable).

4. RÉSULTATS DE LA CLASSIFICATION

Entre les arcs subalpins et le domaine pyrénéo-provençal, parmi les failles supposées les plus actives, il s'agit ([figure 4](#)) :

- 1) des failles inverses sub-EW, en particulier celles de la Trévaresse, de La Fare et d'Aix-Eguilles, situées au front d'un domaine à déformation compressive ;
- 2) des failles décrochantes, de la Moyenne Durance, pour partie d'Aix-en-Provence, ainsi que le système faillé de Salon-Cavaillon dont le mouvement est interprété comme celui de rampes latérales.

Dans les arcs subalpins, seule la partie centrale et sud de la nappe de Digne est active ([figure 4](#)). Celle-ci serait limitée par deux rampes latérales, au nord, le système de failles Pont-de-Fossé-Eychauda puis Grand-Vallon, au Sud, Guillaume-Daluis. Au front de la partie centrale de l'arc de Digne, la déformation se concentre plutôt sur les failles orientées NW-SE, avec un mouvement inverse. Au Sud, la déformation serait de type décrochant dextre et/ou inverse.

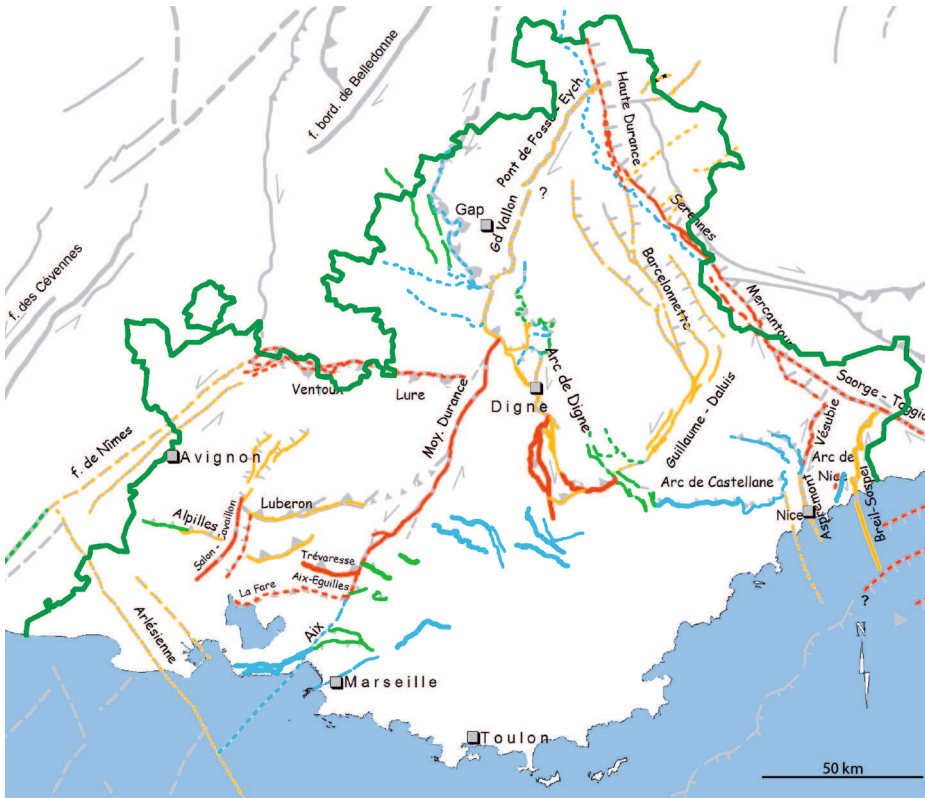
À l'Est, dans les Alpes maritimes, la déformation est contrôlée par le jeu décrochant de failles crustales ([figure 4](#)) : système de failles de La Vésubie – Aspremont, et système de failles de Saorge-Taggia.

Les chaînes alpines internes sont soumises à un régime de type distensif, faisant jouer en normal des failles NW-SE à NS, tels que les systèmes de failles de la Haute Durance, de Serennes, de Barcelonnette et du Mercantour ([figure 4](#)).

L'évaluation du niveau des connaissances régionales (échelle du 1/250 000) indique pour 18 % d'entre-elles une connaissance relativement satisfaisante; pour près de 39 % une connaissance moyenne; pour 42 % des failles, une connaissance assez médiocre.

Cette classification des failles actives de la région PACA repose sur l'état des connaissances actuelles. Il n'est pas exclu que :

- 1) des failles pour lesquelles il n'existe aucune preuve de rejeu depuis plusieurs dizaines de millions d'années rejouent, ou encore ;
- 2) des failles encore méconnues aujourd'hui (failles cachées) peuvent demain générer des séismes et/ou des ruptures en surface ;
- 3) des failles nouvelles puissent apparaître. Toutefois, la probabilité du jeu, avec en particulier l'apparition de rupture en surface générée par de telles failles, est bien moindre que dans le cas des failles connues et qui ont joué lors de la dernière phase alpine.



Classification des failles potentiellement actives de la région PACA		Niveau d'activité présumée			
		Élevé (3)	Moyen (2)	Faible (1)	Nul à Négligeable (0)
Niveau de connaissance	Bon (C)	3C	2C	1C	0C
	Moyen (B)	3B	2B	1B	0B
	Médiocre (A)	3A	2A	1A	0A

Figure 4 - Classification des failles potentiellement actives de la région PACA (Terrier 2006, modifié).

En dépit des limites énoncées (connaissances parfois très insuffisantes, failles actives méconnues possibles), les résultats du schéma sismotectonique et de la classification apportent d'ores et déjà :

- a) des renseignements précieux pour l'amélioration des évaluations de l'aléa sismique régional et local (localisation et caractérisation des sources sismiques) ;
- b) un document d'information pour la connaissance et la prise en compte du risque sismique, composante failles actives, dans les projets d'aménagement ;
- c) une aide à la décision pour fixer des priorités de reconnaissance à plus grande échelle des failles sismogènes (document d'urbanisme, Plan de Prévention des Risques sismiques).

Concernant la description qualitative du degré d'activité des failles, on souligne le fait que pour ce qui concerne le Sud-Est de la France, la vitesse moyenne des failles est de l'ordre de 0,1 mm/an, et cela pour celles soupçonnées d'être parmi les plus actives. Si l'on compare cette vitesse avec celle des failles situées à la limite des plaques entre l'Europe et l'Afrique, cette dernière est 10 fois à 30 fois plus rapide. La classification des failles actives de la région PACA est donc très relative, sachant qu'une faille classée « très active » pour la région PACA serait probablement identifiée comme « peu ou moyennement active » dans le cadre d'une classification à l'échelle du bassin méditerranéen.

5. TRAVAUX COMPLÉMENTAIRES SUR CERTAINES FAILLES

Suite au travail d'identification et de hiérarchisation des failles actives de la région PACA, certaines failles, classées parmi les failles les plus actives de la région PACA, ont fait l'objet de travaux complémentaires. Il s'agit notamment des failles subalpines provençales localisées au nord du département des Bouches-du-Rhône, du système de failles de Salon-Cavaillon, du système de failles de Serenne et de la Haute Durance (figure 2).

5.1 Systèmes de failles d'Aix-Eguilles et de La Fare

Pour obtenir une image de la croûte au niveau des systèmes de failles subalpines provençales, les enregistrements du profil sismique pétrolier 81SE5b réalisé par la CGG dans les années 80 ont été retraités. Sur cette base, une nouvelle interprétation de la structure de la couverture entre le massif du Lubéron et l'étang de Berre a été proposée (Terrier *et al.* 2008b). Il est ainsi montré que :

- le doublement de la série mésozoïque observé au niveau du sondage d'Eguilles1 est dû à un chevauchement de pendage nord et à vergence sud (chevauchement d'Aix-Eguilles) ;
- les chevauchements de la Trévaresse et d'Aix-Eguilles sont des structures profondes puisqu'elles s'enracinent dans le Trias, entre 7 et 8 km de profondeur (figure 5).

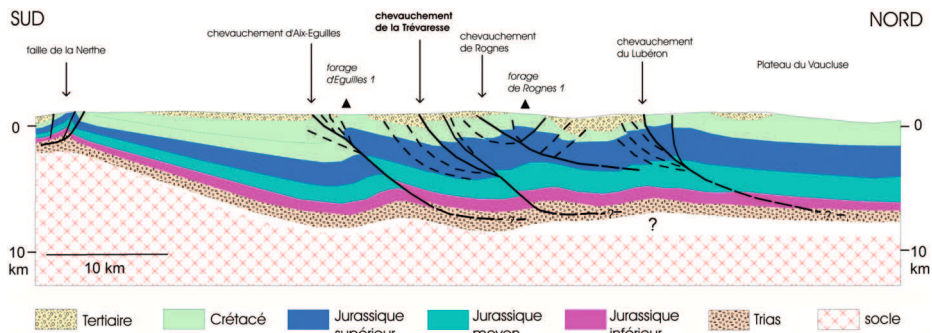


Figure 5 - Coupe NS interprétative au niveau de la couverture provençale montrant l'enracinement des chevauchements alpins sud provençaux, dont la faille de la Trévaresse, dans le Trias (Terrier *et al.* 2008b).

Ces résultats s'accordent avec ceux acquis récemment dans le cadre de travaux de recherche menés sur la sismicité et la géologie du système de failles de la Trévaresse. Ainsi, Baroux *et al.* (2003) ont démontré que le séisme du 11 juin 1909 avait atteint une magnitude de 6.0, et que la rupture s'était probablement initiée entre 5 et 6 km de profondeur. Par ailleurs, la rupture de 1909 s'est vraisemblablement propagée jusqu'en surface du sol, comme semble l'indiquer les déformations tectoniques inverses observées par Chardon *et al.* (2005) dans les terrains déposés il y a moins de 10 000 ans au pied du versant sud du chaînon de la Trévaresse.

Ces nouvelles connaissances ont une implication forte sur le schéma sismotectonique de la Provence occidentale, puisqu'en effet, entre les systèmes de failles qui jouent le rôle de rampes latérales, de la Moyenne Durance et d'Aix-en-Provence d'une part, et de Salon-Cavaillon d'autre part, le front de la déformation alpine est reporté d'environ 7 km plus au sud (soit au niveau du flanc nord du synclinal de l'Arc). Par ailleurs, il est montré que les chevauchements provençaux alpins correspondent non pas à des failles inverses superficielles, mais à des structures tectoniques majeures qui affectent toute l'épaisseur de la couverture méso-cénozoïque.

5.2 Le système de failles de Salon-Cavaillon

L'objectif du travail entrepris visait à une meilleure compréhension de la géométrie du système de failles. Pour cela, outre la prise en considération de la dizaine de cartes géologiques à 1/50 000 couvrant la zone d'étude, plusieurs centaines de forages extraits de la BSS (Banque de données des sondages du Sous-Sol gérée par le BRGM) ont été consultés, 15 000 points de mesures extraits de la BGF (Banque de données Gravimétriques de la France) ont permis la réalisation de cartes gravimétriques, et enfin, près de 200 km de lignes sismiques pétrolières ont été retraités et réinterprétés. C'est la combinaison et le croisement de l'ensemble de ces informations qui ont permis à Terrier *et al.* (2008a) :

- 1) la réalisation de coupes géologiques interprétatives à l'échelle 1/25 000 et ;
- 2) de proposer in fine un cadre structural de la couverture tertiaire et secondaire de la plaine de la Durance et du Rhône, masquée aujourd'hui par une importante couverture colluviale ou alluviale (figure 6).

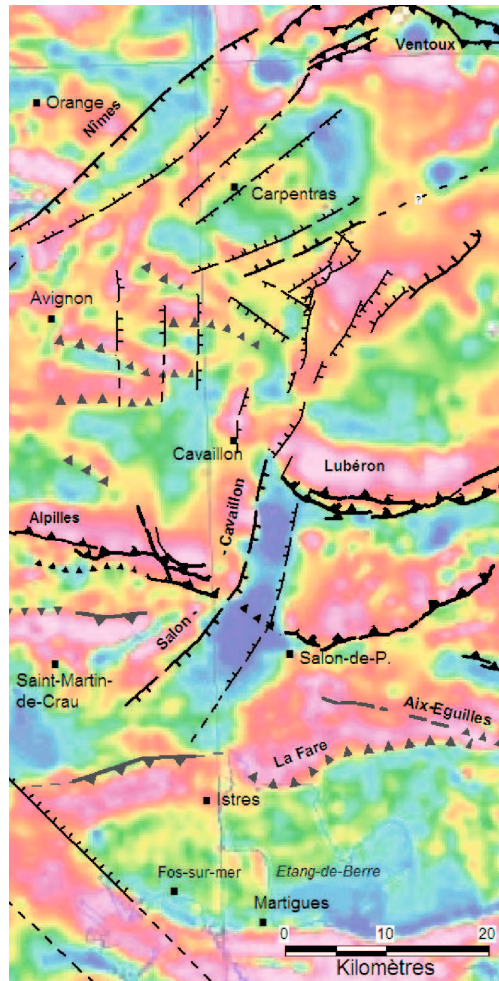
Concernant le système de failles de Salon-Cavaillon, celui-ci est constitué de deux segments d'extension plus courte que celle envisagée auparavant :

- 1) un segment Ouest principal, localisé entre Cavaillon et Saint-Martin-de-Crau ;
- 2) un segment Est, secondaire, plus incertain, localisé entre le Luberon et Miramas. Ce travail a été intégré à celui de Molliex (2009) relatif à la géologie et néotectonique des Alpilles et du système de failles de Salon – Cavaillon, sous la forme d'une publication (Molliex *et al.* 2010) précisant ainsi davantage la place de ces failles actives dans le cadre sismotectonique provençal.

5.3 Systèmes de failles de Serenne et de la Haute Durance

Situées au sein de la zone alpine interne, les failles des systèmes de Serenne et de Haute Durance résultent du régime d'extension exercé durant la période plio-quaternaire au sein

Figure 6 – Carte d'anomalie gravimétrique (gradient vertical de l'anomalie de Bouguer, avec vers les teintes rouges, valeurs positives fortes – jusqu'à +8mgal, et vers le bleu, valeurs négatives élevées – jusqu'à -10m Gal) et interprétation des failles depuis les monts du Ventoux jusqu'au littoral de Fos-sur-mer (Terrier *et al.* 2008a).



des Alpes internes. L'hypothèse avancée aujourd'hui concernant le régime d'extension radiale par rapport à la chaîne interne alpine est une tectonique réagissant par rapport aux forces de volumes de la jeune chaîne.

Toujours actives, le plus fort séisme connu qui leur soit lié est celui du 5 avril 1959 situé à Saint-Paul-sur-Ubaye, d'intensité épicentrale VII-VIII et de magnitude LDG calculée à 5.6.

Les objectifs principaux de l'étude (Legoff *et al.* 2009) ont été :

- d'améliorer la connaissance des systèmes de failles actives de Serenne et de la Haute Durance: magnitude des séismes, caractéristiques du mouvement, période de retour des séismes en fonction d'une magnitude donnée;
- de préciser le zonage probabiliste national en tenant compte des systèmes de failles les plus actifs.

L'évaluation de l'aléa sismique régional s'est faite selon une approche probabiliste (figure 7). L'estimation des périodes de retour de séismes calculées pour les systèmes de failles de Serenne et de la Haute Durance sont :

- de l'ordre de 130 (\pm 10) ans pour un séisme de magnitude 4 ;
- de l'ordre de 300 (\pm 20) ans pour un séisme de magnitude 5 ;
- de l'ordre de 1700 (\pm 50) ans pour un séisme de magnitude 6.

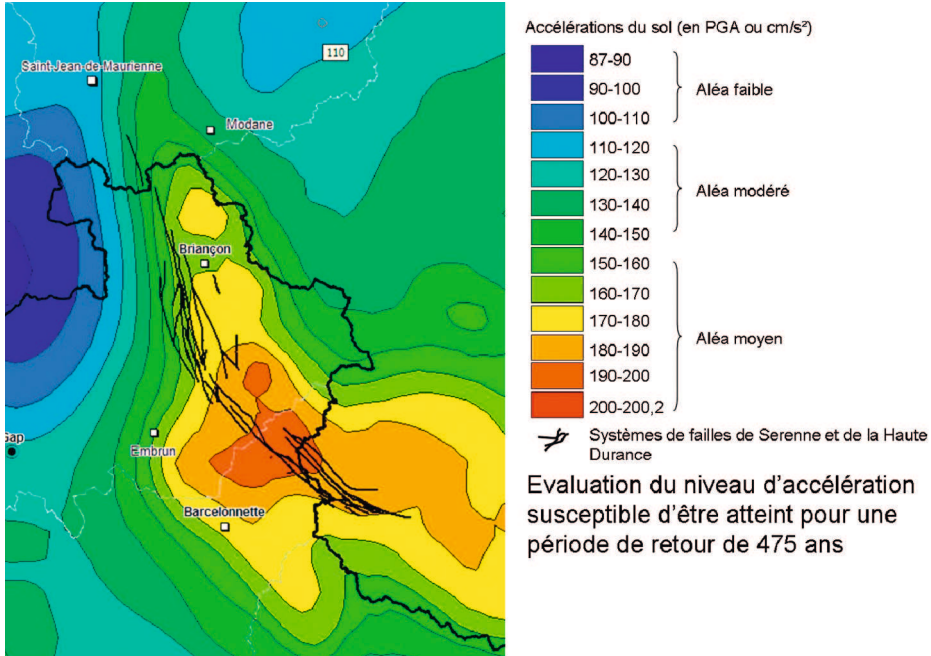
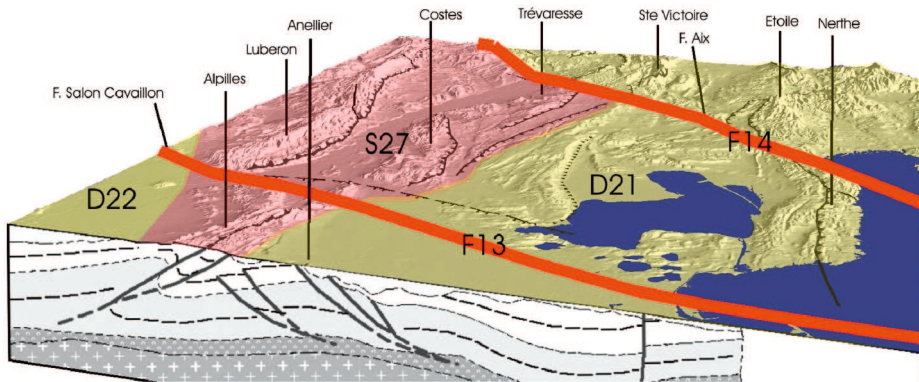


Figure 7 – Évaluation de l'aléa sismique probabiliste au niveau des systèmes de failles de Serenne et de la haute Durance (Le Goff *et al.* 2009).

6. IMPLICATION DES RÉSULTATS SUR L'ÉVALUATION DE L'ALÉA SISMIQUE RÉGIONAL

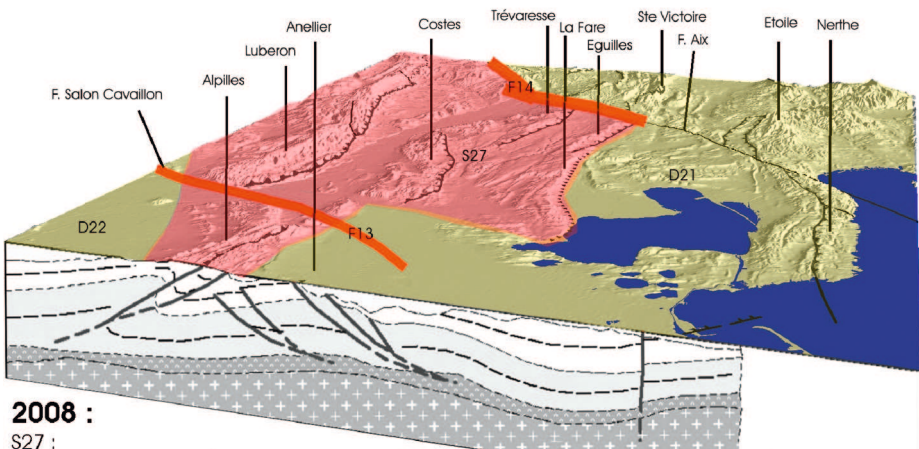
Ces connaissances nouvelles ne sont pas sans incidences sur l'évaluation de l'aléa sismique régional (Terrier, Winter 2006). Ainsi, concernant le zonage sismique de la France réalisé dans le milieu des années 90 pour une évaluation déterministe de l'aléa sismique (Blès *et al.* 1998; Terrier *et al.* 2000), celui-ci distinguait au niveau de la région de Lambesc, une unité sismique spécifique caractérisée par la famille de failles sub-alpines provençales (S27) (figure 8). Il était alors considéré que la faille de la Trévaresse correspondait à la limite sud de l'unité S27. Le séisme de référence de l'unité S27 étant celui de 1909 (Lambesc), la magnitude équivalente estimée dans les années 90 à partir des seules observations macro-sismiques était alors considérée égale à 5.5.

Aujourd'hui, les nouvelles connaissances (Terrier *et al.* 2008 b) sur la structure des failles en profondeur (figure 5) permettent de déplacer de plusieurs kilomètres vers le sud la limite de l'unité S27 (figure 8). Celle-ci est placée au niveau du chevauchement d'Aix-Eguilles et de la faille supposée de la Fare. Le séisme du 11 juin 1909 reste le séisme de référence de cette unité S27, mais, la réinterprétation des enregistrements sismiques du séisme (Baroux *et al.* 2003), et l'analyse des données paléosismiques (Chardon *et al.* 2005) ont récemment démontré que la magnitude du séisme de 1909 avait dû atteindre 6.0 (au lieu de 5.5 estimée dans les années 90).



1998 :

S27 : unité des failles sismogènes subalpines provençales (Lubéron, Alpilles, Costes, Trévaresse)
 F14 : faille de la moyenne Durance et faille d'Aix-en-Provence
 F13 : faille de Salon-Cavaillon



2008 :

S27 :
 La limite sud de l'unité des failles sismogènes subalpines provençales est placée plus au sud. Les failles d'Aix-Eguilles et supposée de La Fare y sont incluses.
 F13 et F14 : Seules les parties nord des failles de Salon - Cavaillon et d'Aix-en-Provence sont considérées actives.

Figure 8 - Évolution du zonage sismotectonique entre 1998 et 2008.

Par ailleurs, l'étude consacrée au système de failles de Salon-Cavaillon (Terrier *et al.* 2008a) indique que la partie active du système de failles de Salon-Cavaillon se trouve au nord du synclinal de l'Arc. Au sud, la couverture post-miocène n'est plus déformée. De fait, l'unité sismique F13 du zonage de 1998 est, elle-aussi, modifiée.

Il en est de même pour ce qui concerne la partie sud de la faille d'Aix-en-Provence car les interprétations sur la géodynamique actuelle de cette partie de la Provence (Guignard *et al.* 2005; Cushing *et al.* 2008) indiquent un transfert de la déformation alpine depuis les failles de la moyenne Durance puis d'Aix-en-Provence sur les failles subalpines provençales. Dans ce schéma, la partie sud de la faille d'Aix-en-Provence ne serait donc plus active.

CONCLUSION

D'un point de vue méthodologique, la démarche de classification mise en œuvre au niveau de la région PACA repose sur l'état des connaissances actuelles. Elle est modulable et facilement reproductible, non seulement grâce à la possibilité de mettre en application d'autres matrices de classification, mais aussi de mettre à jour la table de synthèse en fonction des futures connaissances. Le modèle géodynamique proposé sur la base des informations sismiques et tectoniques actuelles est une hypothèse de travail qui nous a paru le plus satisfaisant. Avec l'évolution des connaissances, ce modèle est très probablement voué lui aussi à être modifié.

L'objectif du travail de classification des failles actives de la région PACA était de favoriser une appropriation du risque lié à la présence de failles actives par les pouvoirs publics afin de leur permettre de mieux prendre en considération dans le cadre d'étude de protection et de planification. On souligne néanmoins que, en cas de survenance d'un événement sismique, outre la composante rupture en surface et champ proche liées directement à la faille active, il faut aussi tenir compte des autres effets de site (directs ou indirects) qui peuvent modifier considérablement le niveau d'agression initial.

De façon plus générale, les travaux (BRGM, mais aussi CNRS, IRSN, Universités) des dix dernières années menés sur la sismotectonique de la Région PACA ont permis d'améliorer considérablement la connaissance de l'aléa sismique. Ils ont notamment amené à redéfinir les limites et les caractéristiques de plusieurs unités sismiques, avec des conséquences non négligeables sur les critères de dimensionnement et de sécurité des ouvrages « à risque spécial » localisé dans la zone industrielle de Fos-Berre. Néanmoins, en dépit de ces importants progrès, aujourd'hui il existe encore de très nombreuses incertitudes qui nécessitent de poursuivre ce travail de recherche, notamment en ce qui concerne l'étude géologique et cartographique de certaines failles considérées potentiellement actives mais qui demeurent encore très mal connues (failles d'Aix-Eguilles et de la Fare par exemple), ou bien la réalisation d'analyses paléosismiques (évaluation du taux de déformation, période de retour des forts séismes, estimation de la magnitude maximale susceptible d'être générée par la faille) comparables à celle déjà menées sur le chevauchement de la Trévaresse.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Baroux et al. 2003

Baroux E., Alessandro Pino N., Valensise G., Scotti O., Cushing M., *Source parameters of the 11 juin 1909, Lambesc (Provence, southeastern France) earthquake: a reappraisal based on macroseismic, seismological and geodesic observations*, Journal of Geophysical Research, 108 (139).

Blès et al. 1998

Blès J.-L., Bour M., Dominique P., Godefroy P., Martin C., Terrier M., *Zonage sismique de la France métropolitaine pour l'application des règles parasismiques aux installations classées*, Documents du BRGM, 279, 56 p.

Blès et al. 1991

Blès J.-L., Colleau A., Fourniguet J., Godefroy P., Lenôtre N., Sauret B., Combes Ph., Dubié J.-Y., Vaskou P., *Proposal for classification of fault activity in an intraplate collision setting: Definitions and examples*, Tectonophysics, 194, p. 279-293.

Blès et al. 1992

Blès J.-L., Sauret B., Godefroy P., Martin C., *Contribution à l'étude des dangers d'installations industrielles à «risque spécial» de la région Rhône-Alpes*, Rapport BRGM R33623 GEO-SGN92, coll. Lambert J.

Chardon et al. 2005

Chardon D., Hermitte D., Nguyen F., Bellier O., *First paleoseismological constraints on the strongest earthquake in France (Provence) in the twentieth century*, Geology, 33 (11), p. 901-904.

Combes et al. 1995

Combes P., Grellet B., *Étude néotectonique de la région Languedoc-Roussillon*, Rapport GEOTER n° GTR/BRG/0995-35.

Cushing et al. 2007

Cushing E.M., Bellier O., Nechtschein S., Sébrier M., Lomax A., Volant Ph., Dervin P., Guignard P., Bove L., *A multidisciplinary study of a slow-slipping fault for seismic hazard assessment: the example of the Middle Durance Fault (SE France)*, Geophysical Journal International, 172 (3), p. 1163-1178.

Guignard et al. 2005

Guignard P., Bellier O., Chardon D., *Géométrie et cinématique post-oligocène des failles d'Aix et de la moyenne Durance (Provence, France)*, Comptes Rendus de l'Académie des sciences, Géoscience, Paris, 337(3), p. 375-384.

Grellet et al. 1993

Grellet B., Combes P., Granier T., Philip H., *Sismotectonique de la France métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique avec atlas de 23 cartes au 1/4 000 000 et une carte au 1/1 000 000*, Mémoires de la Société Géologique de France, N.S., 164, 2 volumes.

Kerr et al. 2004

Kerr J., Nathan S., Van Dissen R., Webb P., Brunson D., King A., *Planning for Development of Land on or Close to Active Faults - A guideline to assist resource management planners in New Zealand*, Edit. Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand, ISBN: 0-478-18979-6.

Le Goff et al. 2009

Le Goff B., Bertil D., Lemoine A., Terrier M., *Systèmes de failles de Serenne et de la Haute Durance (Hautes-Alpes) : évaluation de l'aléa sismique*, Rapport BRGM-RP-57659-FR, 208 p.

Molliex 2009

Molliex S., *Caractérisation de la déformation sismogénique de la Provence*, université Paul Cézanne Aix-Marseille, Thèse soutenue le 26 Novembre 2009, Tectonophysics, 501, 1-4 (2011) 1-16 - <http://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00609690/fr>.

Molliex et al. 2010

Molliex S., Bellier O., Terrier M., Lamarche J., Martelet G., Espurt N., *Tectonic and sedimentary inheritance on the structural framework of Provence (SE France): Importance of the Salon-Cavaillon fault*, Tectonophysics, 501, 1-4 (2011) 1-16.

Ritz 1991

Ritz J.-Fr., *Évolution du champ de contraintes dans les Alpes du Sud depuis la fin de l'Oligocène. Implications sismotectoniques*, Thèse de l'université des Sciences et Techniques du Languedoc, 187 p.

Slemmons, McKinney 1977

Slemmons D. B., McKinney R., *Definition of "Active Fault", U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Soil and Pavements Laboratory*, Miscellaneous paper S-77-8, Final Report, May 1977, p. 22.

Terrier 1991

Terrier M., *Néotectonique de la Provence occidentale (France) : vers une analyse multicritères des déformations récentes. Application à la classification des structures sismogènes*, Thèse de l'université de Provence, Document du BRGM, 207, 232 p.

Terrier 2002

Terrier M., *Identification et hiérarchisation des failles actives de la région Provence - Alpes - Côte d'Azur. Phase 1: Bilan et synthèse des connaissances sismotectoniques actuelles*, Rapport BRGM-RP-51910-FR, 50 p.

Terrier 2004

Terrier M., *Identification et classification des failles actives de la Provence-Alpes-Côte d'Azur. Phase 2: Analyse et synthèse des connaissances actuelles sous la forme de fiches descriptives des failles*, Rapport BRGM-RP-53151-FR, 2 volumes, 350 p.

Terrier 2006

Terrier M., *Identification et hiérarchisation des failles actives de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Phase 3: Hiérarchisation des failles actives*, Rapport BRGM-RP-53930-FR, 216 p.

Terrier et al. 2000

Terrier M., Blès J.-L., Godefroy P., Dominique P., Bour M., Martin C., *Zonation of Metropolitan France for the application of earthquake-resistant building regulations to critical facilities. Part 1: Seismotectonic zonation*, Journal of Seismology, 4 (3), p. 215-230.

Terrier et al. 2008a

Terrier M., Courrioux G., Martelet G., avec la collaboration de Bitri A., Hanot F., *Étude de la faille de Salon-Cavaillon (Région PACA, France)*, Rapport BRGM-RP-55989-FR, 177 p.

Terrier et al. 2008b

Terrier M., Serrano O., Hanot F., *Reassessment of the structural framework of western Provence (France): consequence on the regional seismotectonic model*, Geodinamica Acta, 21 (5), p. 231-238.

Terrier, Winter 2006

Terrier M., Winter T., *Nouvelles données sur le système de failles la Fare – Eguilles, implication en terme d'aléa sismique pour la région PACA (secteur de l'étang de Berre, Lambesc, Aix-en-Provence)*, Rapport BRGM-RP-55233-FR, 22 p.

