



Ministère de l'Industrie
de la Poste et des
Télécommunications

DOCUMENT PUBLIC

*Base NEPAL (néotectonique et paléosismicité) :
bilan des travaux 1996*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 96H002

septembre 1996
R39081



BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Département Utilisation et Protection de l'Espace Géologique
BP 167 - 13276 MARSEILLE Cedex 9 - France - (Tél. : (33) 91 17 74 74

DOCUMENT PUBLIC

*Base NEPAL (néotectonique et paléosismicité) :
bilan des travaux 1996*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 96H002

septembre 1996
R39081

BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Département Utilisation et Protection de l'Espace Géologique
BP 167 - 13276 MARSEILLE Cedex 9 - France - (Tél. : (33) 91 17 74 74

Mots clés : Base de données, néotectonique, paléoséisme, évaluation, aléa sismique (France).

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Terrier M., Blès J.L. (1996) - Base Népal (néotectonique et paléosismicité) : bilan des travaux 1996.

©BRGM, 1996, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Résumé

Ce travail a été réalisé dans le cadre des actions de service public que mène le BRGM.

Ses objectifs sont :

- la réalisation d'une **base documentaire "néotectonique et paléosismicité" pour le territoire français, base NEPAL,**
- la participation du BRGM au sein d'un **groupe de travail "néotectonique et paléosismicité".**

• La base NEPAL permet d'avoir accès directement aux documents originaux décrivant les indices ; au niveau des fiches documentaires, elle donne aussi une description synthétique et objective de chacun d'eux. Ces dossiers sont consultés à la fois dans le cadre de travaux de recherche fondamentale sur les déformations néotectoniques, mais aussi dans le cadre d'études d'ingénierie relatives aux évaluations d'aléa sismique.

La base documentaire doit être **gérée de façon continue** (constitution et mise à jour de dossiers selon l'état et l'évolution des connaissances, validation des indices par contrôle sur le terrain, et éventuellement réalisation de tranchée pour une étude de paléosismicité).

Aujourd'hui, plusieurs indices ont fait l'objet d'une analyse détaillée sur le terrain ; **certains indices jusqu'alors retenus comme indices néotectoniques ont vu leur interprétation tectonique écartée ; par contre, pour d'autres indices, des descriptions précises de rupture(s) en surface et l'évaluation de paléoséisme(s) ont pu être faites.**

Progressivement, chacun des indices répertoriés dans la base doit pouvoir faire l'objet d'une vérification et d'une analyse. C'est ce travail de vérification, très lourd et fastidieux, qu'il nous faut entreprendre maintenant si l'on veut pouvoir obtenir une vision la plus juste et complète possible des ruptures en surface et des paléoséismes ayant affecté la métropole au cours de ces deux derniers millions d'années.

- La synthèse et la validation de telles informations sur les déformations récentes constituent un **élément fondamental pour toute étude d'évaluation de l'aléa sismique**. La base NEPAL a ainsi servi de base pour la réalisation du bilan des connaissances néotectoniques intégré dans l'élaboration de la carte sismotectonique de la France et du zonage sismique pour les installations classées (Blès et al., 1996). De plus, dans le cadre de la réalisation de microzonages pour les ouvrages courants (type PPR), ces informations (localisation de ruptures de surface récentes et de paléoséismes) complètent utilement la connaissance de la localisation et la caractérisation de l'activité potentielle des failles quant à leur prise en compte lors de la cartographie de l'aléa sismique. Mais, **l'interprétation des paléoséismes associés aux ruptures en surface doit être faite de façon concertée**, cela est réalisé et doit être poursuivi dans le cadre des réunions du groupe de travail "rupture de surface et paléosismicité" constitué en 1993, dès la première étape de constitution de la base.

Sommaire

| | Pages |
|--|-------|
| Résumé | |
| 1. Introduction | 1 |
| 2. Rappels sur la structure de la base | 3 |
| 3. Bilan des informations contenues dans la base NEPAL à la fin de l'année 1996 | 6 |
| 3.1. Les indices référencés et leurs caractéristiques principales..... | 6 |
| 3.2. Bilan des informations recensées | 15 |
| 4. Qualité des indices et priorités d'action | 20 |
| 5. Comptes-rendus de missions | 26 |
| 5.1. Compte-rendu de mission du 06/09/94 | 26 |
| 5.2. Compte-rendu de mission du 13/02/95 | 26 |
| 5.3. Compte-rendu de mission du 18/10/95 | 26 |
| 5.4. Compte-rendu de mission du 12/11/95 | 27 |
| 6. Résultats des analyses de paléosismicité | 28 |
| 7. Résultats et évolution de la base | 29 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 - Organisation de la base documentaire..... | 4 |
| Figure 2 - Bordereau documentaire..... | 5 |
| Figure 3 - Carte des indices de la base NEPAL, "néotectonique et paléosismicité" (état fin 1996) avec le numéro correspondant | 9 |
| figure 4 - Carte des indices de la base NEPAL, avec indication de leur qualité, et des principales failles (état de la base à fin 1996) | 16 |
| figure 5 - Carte des indices de la base NEPAL, avec indication de leur qualité, et répartition par départements (état de la base à fin 1996)..... | 17 |
| figure 6 - Carte des indices de la base NEPAL, avec indication de leur origine présumée (état de la base à fin 1996) | 18 |
| figure 7 - Carte des indices de la base NEPAL, avec indication de leur emprise (état de la base à fin 1996)..... | 19 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 - Indices néotectoniques répertoriés dans la base NEPAL | 10 |
| Tableau 2 - Indices néotectoniques de la base NEPAL : qualité et priorité d'action(s) à entreprendre..... | 21 |
| Tableau 3 - Extrait des indices ayant fait l'objet d'une analyse paléosismique, ou à analyser en priorité dans le futur | 31 |

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 - Comptes-rendus de mission.

Annexe 2 - Article présenté suite aux résultats acquis dans le cadre de ce travail.

1. Introduction

Ce travail a été réalisé dans le cadre des actions de service public que mène le BRGM pour le compte du ministère de l'Industrie; il correspond à la fiche 96H102 du programme 1996.

Ses objectifs sont : La réalisation d'une base documentaire néotectonique pour le territoire français, d'une part, et la participation du BRGM au sein d'un groupe de travail "néotectonique et paléosismicité", d'autre part.

- Depuis 1993, en parallèle aux travaux de recherche menés par différents organismes (BRGM, EDF, IPSN, Universités) sur la méthodologie d'acquisition des données de paléosismicité, leur modélisation et leur interprétation, une **base documentaire de données néotectoniques de vocation nationale** est progressivement constituée. Son objectif principal est de constituer un **outil complémentaire au fichier de sismicité historique SIRENE, pour la localisation des failles actives**, c'est-à-dire des zones de ruptures de surfaces potentielles et/ou des failles sismogènes. L'analyse des données recueillies dans cette base néotectonique permet également de **sélectionner des sites pour des études paléosismiques**, c'est-à-dire la recherche de la trace d'anciens séismes (séismes plus anciens que ceux de la période historique), et la détermination de leurs caractéristiques.

La base documentaire est **gérée de façon continue** (constitution et mise à jour de dossiers selon l'état et l'évolution des connaissances, validation des indices par contrôle sur le terrain, et éventuellement réalisation de tranchée pour une étude de paléosismicité). Les données néotectoniques recensées au niveau du territoire sont structurées en dossier d'indice néotectonique. L'ensemble des dossiers constitue la **base documentaire de données néotectoniques et de paléosismicité, ou base NEPAL**. On se rapportera au rapport de Terrier et al. (1994)¹, pour la description de la structuration de cette base.

La constitution de la base NEPAL s'est appuyée notamment sur le travail de synthèse néotectonique réalisé par Grellet et al. (1993)² et dans lequel une liste d'indices néotectoniques avait été référencée.

¹ Terrier M., Sauret B., Blès J.L. (1994) - Bilan des travaux réalisés pour la fiche de service public n° 6106 : base documentaire "néotectonique et paléosismicité". *Rapport BRGM R 37 885*.

² Grellet B., Combes Ph., Granier Th. et Philip H. (1993) - Sismotectonique de la France métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique. *Mém. de la Soc. géologique de Fr.*, n°164

- Par ailleurs, dans le cadre de cette action, le BRGM intervient régulièrement dans des **réunions du groupe de travail "déformations et paléosismicité"** (protocole d'accord BRGM/EDF/IPSN) qui ont notamment pour objet de faire un état régulier concerté des données néotectoniques en France (en particulier celles relatives à des ruptures de surface observées à l'occasion de tranchées et sur leur interprétation et traduction en terme de paléosismicité).

La synthèse et la validation de telles informations sur les déformations récentes constituent un **élément fondamental pour toute étude d'évaluation de l'aléa sismique**. Ainsi, d'ores et déjà, la base NEPAL sert de base pour la réalisation du bilan des connaissances néotectoniques intégré dans l'élaboration de la carte sismotectonique de la France et du zonage sismique pour les installations classées (Blès et al., 1996)³. De plus, dans le cadre de la réalisation de microzonages pour les ouvrages courants (type PPR), ces informations (localisation de ruptures de surface récentes et de paléoséismes) complètent utilement la connaissance de la localisation et la caractérisation de l'activité potentielle des failles quant à leur prise en compte lors de la cartographie de l'aléa sismique.

- Ces travaux menés dans le cadre de cette fiche de Service Public sont réalisés en coordination étroite avec ceux effectués dans le cadre du **programme de recherche du BRGM relatif aux risques naturels** (projet P50) et dont les objectifs sont notamment de définir une méthodologie d'analyse de la paléosismicité et d'établir une réflexion sur la prise en compte des paléoséismes dans les études d'évaluation d'aléa sismique (limites, apports, lacunes de ce type de données).

³ Blès J.L., Bour M., Dominique P., Godefroy P., Martin C., Terrier M. (1996) - Synthèse sismotectonique et zonage sismique de la France continentale en vue de l'application des règles parasismiques aux installations classées. *Rapport BRGM*, R 38 754

2. Rappels sur la structure de la base

Les indices décrits dans la littérature (publications, rapports) sont classés par département, puis par commune.

Chaque indice est numéroté en fonction du département et de la commune dans lequel il se situe, puis pour chacune des communes, en fonction de l'ordre chronologique de réalisation de la fiche dans la base.

Chaque indice correspond à un dossier d'indice. Un dossier rassemble :

- une **carte de localisation** sur fond topographique IGN à 1/25 000.
- une **fiche de documentation**, au niveau de laquelle sont rassemblées les principales informations concernant les descriptions de l'indice et les interprétations effectuées par les auteurs précédents ;
- les **documents originaux** (publications, extraits d'ouvrages), relatifs à la description initiale de l'indice ;

Les figures 1 et 2 présentent l'organisation générale de la base NEPAL et les éléments d'informations requis au niveau des fiches de documentation.

base documentaire néotectonique

constituée par un ensemble de dossiers départementaux

dossier départemental

nom du département français
numéro du département
(ou nom du pays limitrophe et de la région concernée)

un dossier départemental peut être constitué par plusieurs dossiers communaux

dossier communal

nom et n° du département
nom de la commune
n° INSEE

constitué par plusieurs dossiers d'indices situés sur la commune, et par un plan topographique avec numéro et localisation des indices localisés sur la commune

dossier d'indice

nom et n° du départ.
nom et n° de la commune
n° de l'indice (par ordre chronologique de réalisation des dossiers de la commune)

dossier documentaire

même numérotation que
le dossier d'indice

ensemble des documents
bibliographiques d'origine

fiche documentaire

même numérotation que
le dossier d'indice

réalisation de la fiche à
partir du bordereau
documentaire

fiche de contrôle de terrain

même numérotation que
le dossier d'indice

réalisation de la fiche à
partir du bordereau
de contrôle de terrain

Figure 1 - Organisation de la base documentaire

Base documentaire néotectonique du BRGM
BORDEREAU DOCUMENTAIRE

1. LOCALISATION

- 1.1. pays (hors France) ou département (Français)
- 1.2. commune
- 1.3. nom de l'indice (lieu-dit, trait topographique caractéristique...)
- 1.4. référence des cartes topographique et/ou géologique
 - a) référence de la coupure
 - b) référence de la carte géologique
- 1.5. "emprise" de l'indice (ou des indices)
- 1.6. localisation sur fond topographique

2. REFERENCE(S)

3. DESCRIPTIONS

- 3.1. méthode de reconnaissance et nature de l'indice
- 3.3. type, nature et géométrie de la déformation observée
- 3.4. âge de la déformation
 - 3.4.1. Age des terrains non déformés les plus anciens
 - 3.4.2. Age des terrains déformés les plus récents

4. ILLUSTRATION(S)

**5. INTERPRETATION DES CAUSES ET ORIGINE(S) DE LA
DEFORMATION**

6. STRUCTURE TECTONIQUE DE RATTACHEMENT

7. LIEN AVEC D'AUTRES INDICES

8. COMMENTAIRES DE L'AUTEUR DU BORDEREAU

9 - DATE ET AUTEUR DE LA FICHE DOCUMENTAIRE

date :

auteur :

Figure 2 - Bordereau documentaire

3. Bilan des informations contenues dans la base NEPAL à la fin de l'année 1996

3.1. LES INDICES REFERENCES ET LEURS CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Au total, 206 indices sont actuellement répertoriés dans la base, figure 3. Le tableau 1 en présente les principales caractéristiques :

- département concerné,
- numéro de l'indice
- nom de la commune,
- lieu-dit ou appellation de l'indice, s'il y a lieu,
- coordonnées x et y dans le système de référence Lambert 2 cartographique,
- emprise ou dimension de l'indice, avec :

P=ponctuelle, L=linéaire, S=surfacique, et pd=pluridécamétrique, ph=plurihectométrique, pk=plurikilométrique.

- nature, avec :

FN=faille normale, FI=faille inverse, FD=faille décrochante (et avec s=sénesre, d=dextre), Dec=décalage, Dev=déviaton, Br=Brèche, Bas=basculement, ZS=zone soulevée, m=micro, G=géomorphologique

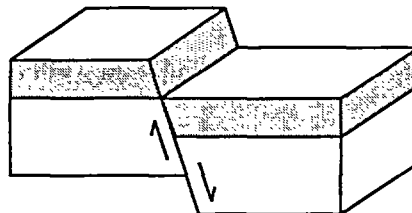
- interprétation de l'origine de l'indice d'après les auteurs, avec :

T=tectonique, GT=glacitectonique, G=Géomorphologique

Illustrations schématiques des principaux différents types d'indices néotectoniques cités dans le tableau 1 (colonne NATURE):

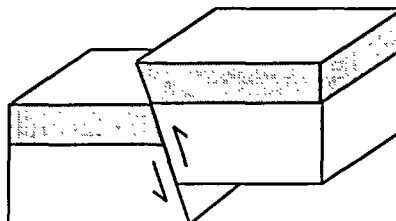
Interprétation tectonique :

Faille normale (FN)



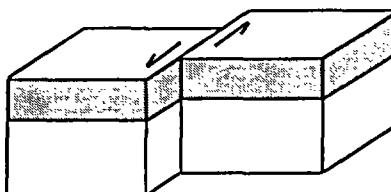
Interprétation tectonique :

Faille inverse (FI)



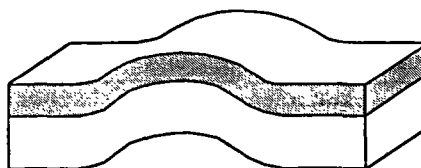
Interprétation tectonique :

Faille décrochante (FD)
(exemple d'un décrochement sénestre)

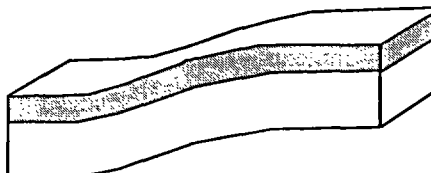


Interprétation tectonique :

Pli
(exemple d'un pli anticlinal)



Interprétation géomorphologique ou
tectonique :
Flexure ou
Basculement (Bas)



approche morphologique :

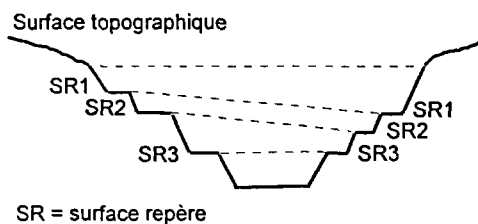
Rupture de pente (RP)



approche morphologique :

Décalage de niveaux (Dec)

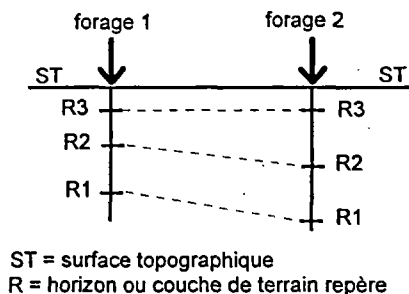
(exemple d'un décalage des terrasses alluviales SR1 et SR2 ; le niveau SR3, plus récent n'est pas décalé)



données de forages :

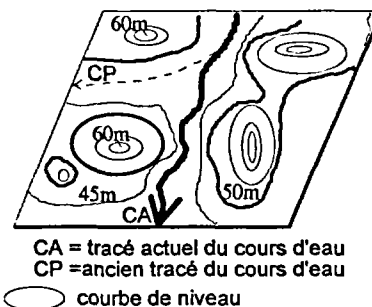
Décalage de niveaux (Dec)

(exemple d'un décalage des couches de terrains R1 et R2 ; le niveau R3, plus récent n'est pas décalé)



approche morphologique :

Déviatation ou dérivation de rivière (Dev)



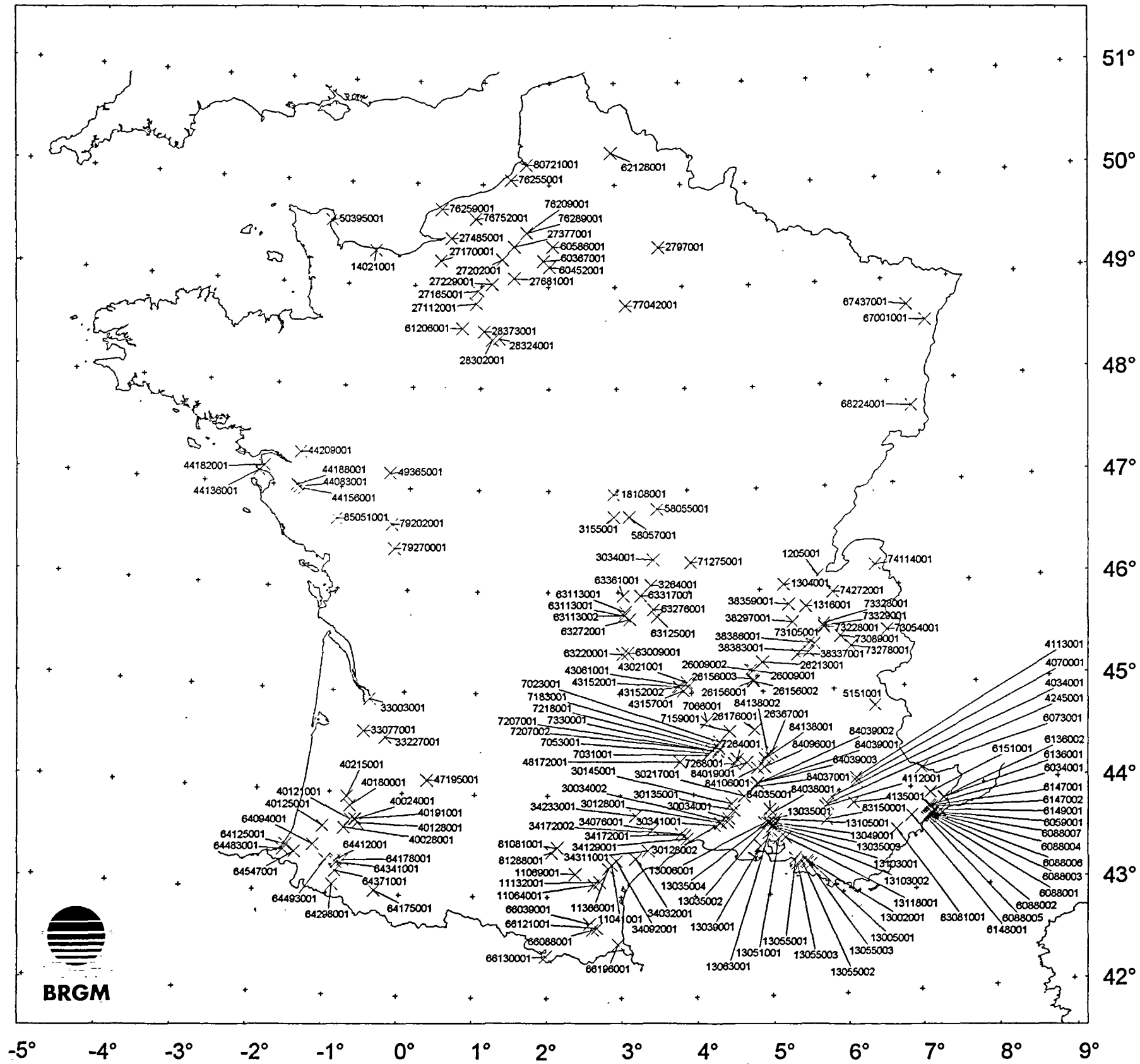


figure 3 - Carte des indices de la base NEPAL, avec le numéro correspondant (état de la base à fin 1996)

| département | numéro | nom de la commune | lieu-dit ou appellation de l'indice | coord.X | coord.Y | emprise | nature | interprétation | Âge des terrains les plus récents déformés |
|-------------------------|----------|----------------------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------------|----------------|--|
| Ain | 1205001 | Lancrans | | 870.10 | 2131.10 | P | FN | T ou GT | Quaternaire |
| Ain | 1304001 | Pont-d'Ain | | 832.00 | 2121.00 | P | FI | T | Pliocène ? |
| Ain | 1316001 | Pugieu | lac de Virieu | 856.75 | 2097.10 | P | FI, FN | G ou T | Quaternaire |
| Aisne | 2797001 | Viel-Arcy | | 695.10 | 2488.25 | P | Dec | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Allier | 3034001 | Boucé | dépression de Boucé | 689.00 | 2147.00 | S(pk) | G | T | Quaternaire |
| Allier | 3155001 | Lurcy-Lévis | Carrière de Pont-de-l'Étaut | 646.68 | 2193.45 | P | FN | T | Pliocène supérieur |
| Allier | 3264001 | Saint-Yorre | horst de Saint-Yorre | 687.00 | 2119.00 | L(pk) | G | T | Quaternaire |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4034001 | La Brillanne | | 885.65 | 1888.30 | P | FIDs | T | Quaternaire (Riss) |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4070001 | Digne | Les Fontaines | 913.30 | 1905.50 | P | Bas, mFI | T | Quaternaire inférieur |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4112001 | Manosque | ravin de Valvéranne | 878.73 | 1878.25 | P | FI | T | Quaternaire (Würm) |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4113001 | Marcoux | La Grande Colle | 913.50 | 1909.50 | P | Bas, mFI | T | Quaternaire inférieur |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4135001 | Moustiers-Sainte-Marie | Signal du Castillon ou Ségris | 910.50 | 1882.20 | S(ph) | Bas, Br, Fr | T | Quaternaire inférieur |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4245001 | Volx | Montagne de Volx | 881.00 | 1880.62 | P | FDs | T | Quaternaire (Würm) |
| Hautes-Alpes | 5151001 | Saint-Martin-de-Queyrières | Villard-Meyer | 934.96 | 1988.83 | P | FN, FI, Pli | T ou GT | Quaternaire (Würm) |
| Alpes-Maritimes | 6034001 | Castagniers | La Loublère | 994.00 | 1879.25 | P | FIDd | T | Pliocène |
| Alpes-Maritimes | 6059001 | Eze | Cap d'Ail | 1008.80 | 1870.70 | P | FD | T | Quaternaire |
| Alpes-Maritimes | 6073001 | Isola | Isola 2000 | 986.75 | 1921.00 | P | Dec | G | Quaternaire (Würm) |
| Alpes-Maritimes | 6088001 | Nice | Saint-Philippe | 996.40 | 1867.25 | P | FD | T | Pliocène supérieur |
| Alpes-Maritimes | 6088002 | Nice | | 994.03 | 1866.62 | P | FI, FDd | T | Quaternaire inférieur |
| Alpes-Maritimes | 6088003 | Nice | Sablères | 995.20 | 1870.00 | P | FN | T | Pliocène |
| Alpes-Maritimes | 6088004 | Nice | salle omnisport Brancolar | 998.00 | 1870.25 | P | FN | T | Quaternaire (Villafranchien) |
| Alpes-Maritimes | 6088005 | Nice | vallée du Var | 992.00 | 1865.50 | S(ph) | Dec | G ou T | Quaternaire (Riss-Würm) |
| Alpes-Maritimes | 6088006 | Nice | Petit Valrose | 997.80 | 1869.80 | P | FN, Br | T | Plio-Quaternaire |
| Alpes-Maritimes | 6088007 | Nice | le vallon des Fleurs | 997.75 | 1871.35 | P | FN | T | Quaternaire (Riss) |
| Alpes-Maritimes | 6136001 | Sospel | Fort Saint-Roch ou Coupe du blockaus | 1010.78 | 1888.09 | P | Bas | T | Quaternaire moyen |
| Alpes-Maritimes | 6136002 | Sospel | cimetière | 1010.59 | 1888.29 | P | Bas | T | Quaternaire moyen |
| Alpes-Maritimes | 6147001 | Tourrette-Levens | Mont-Cima | 996.00 | 1879.00 | P | mFN, g.stris | T | Pliocène inférieur |
| Alpes-Maritimes | 6147002 | Tourrette-Levens | | 997.61 | 1877.85 | P | FN | T | Plio-Quaternaire |
| Alpes-Maritimes | 6148001 | Tourettes-sur-Loup | Pont-du-Loup | 975.50 | 1868.72 | P | Bas | T | Pliocène supérieur |
| Alpes-Maritimes | 6149001 | La Trinité | Laghet | 1006.80 | 1874.70 | P | FIDs, FI, FDs | T | Plio-Quaternaire |
| Alpes-Maritimes | 6151001 | Utelle | Grotte des deux Gourdes | 996.00 | 1893.75 | P | Fr | T | ? |
| Ardèche | 7023001 | Balazuc | | 762.62 | 1948.00 | L(ph) | RP | G ou T | Quaternaire |
| Ardèche | 7031001 | Berrias | | 748.83 | 1933.16 | L(pk) | G/Bas | G ou T | Quaternaire inférieur ? |
| Ardèche | 7053001 | Chandolas | | 752.13 | 1935.77 | P | Dev | G ou T | anté-Quaternaire |
| Ardèche | 7066001 | Chomerac | | 748.30 | 1970.25 | P | FN, Fr | T | Quaternaire (Würm) |
| Ardèche | 7159001 | Mirabel | | 773.60 | 1959.30 | P | Dec | G | Pliocène |
| Ardèche | 7183001 | Pradons | | 760.33 | 1943.28 | S(ph) | RP | G ou T | Quaternaire |
| Ardèche | 7207001 | Saint-Alban - Auriolles | Esplucha | 754.48 | 1938.37 | P | Dev | T | anté-Quaternaire |
| Ardèche | 7207002 | Saint-Alban - Auriolles | Bourbouillet | 754.13 | 1938.47 | P | Dev | G ou T | anté-Quaternaire |
| Ardèche | 7218001 | Lagorce | plaine de Tarnis | 762.63 | 1939.98 | S(pk) | G/ZS | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Ardèche | 7264001 | Saint-Marcel-d'Ardèche | | 782.16 | 1928.80 | S(pk) | G/Bas | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Ardèche | 7268001 | Saint-Martin-d'Ardèche | | 778.96 | 1923.99 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Ardèche | 7330001 | vallon-Pont-d'Arc | | 761.13 | 1936.98 | S(ph) | Dec | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Aude | 11041001 | Bize-Minervois | | 643.70 | 1812.60 | S(ph) | G/Bas | G | Quaternaire (Riss) |
| Aude | 11084001 | Camplong-d'Aude | Montagne d'Alaric | 624.00 | 1791.00 | S(pk) | G/Bas | G | Quaternaire (Riss) |
| Aude | 11069001 | Carcassonne | La Flageole - Villemoustassou | 603.40 | 1802.10 | S(pk) | Dec, Dev | G | Quaternaire (Riss) |
| Aude | 11132001 | Fabrezan | | 630.00 | 1794.00 | P | F, Dec | T | Quaternaire (Mindel) |
| Aude | 11366001 | Sainte-Vallière | | 640.10 | 1808.00 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Bouches-du-Rhône | 13002001 | Allauch | Les Embucs | 858.33 | 1818.53 | P | G/Bas | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Bouches-du-Rhône | 13005001 | Aubagne | | 862.75 | 1815.00 | P | F, Bas | G ou T | Quaternaire (Riss) |

Tableau 1 - Indices néotectoniques répertoriés dans la base NEPAL

| département | numéro | nom de la commune | lieu-dit ou appellation de l'Indica | coord.X | coord.Y | emprise | nature | interprétation | âge des terrains les plus récents déformés |
|------------------|----------|--------------------------|--|---------|---------|---------|---------------|----------------|---|
| Bouches-du-Rhône | 13006001 | Aureille | costières de Malacercis | 811.10 | 1859.50 | S(ph) | Bas | T | Quaternaire inférieur |
| Bouches-du-Rhône | 13035001 | Eyguières | Grand - Vallon | 818.20 | 1864.00 | P | FN, FD | T | Quaternaire (Würm) |
| Bouches-du-Rhône | 13035002 | Eyguières | | 817.15 | 1860.50 | S(ph) | Br | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Bouches-du-Rhône | 13035003 | Eyguières | seuil d'Eyguières | 817.50 | 1858.50 | S(ph) | Dev | G ou T | Quaternaire (Riss) |
| Bouches-du-Rhône | 13035004 | Eyguières | vallon des Glauges | 815.00 | 1859.40 | S(ph) | Bas | T | Quaternaire inférieur |
| Bouches-du-Rhône | 13039001 | Fos-sur-Mer | | 807.33 | 1833.92 | L(ph) | FN | T | Miocène |
| Bouches-du-Rhône | 13049001 | Lamanon | seuil de Lamanon | 822.50 | 1859.50 | L(ph) | Dev | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Bouches-du-Rhône | 13051001 | Laçon-de-Provence | ferme de Calissanne | 826.50 | 1842.50 | P | Fr | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Bouches-du-Rhône | 13055001 | Marseille | Lycée Saint-Exupéry | 844.75 | 1820.70 | P | Pli | G ou T | Quaternaire |
| Bouches-du-Rhône | 13055002 | Marseille | Les Caillols | 852.00 | 1817.50 | P | F, Fr, Pli | G ou T | Quaternaire |
| Bouches-du-Rhône | 13055003 | Marseille | Eoures - Les Camoins | 858.64 | 1816.27 | P | Pli | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Bouches-du-Rhône | 13055003 | Marseille | | 847.02 | 1815.20 | S(pk) | G/Bas | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Bouches-du-Rhône | 13063001 | Miramas | Molières | 816.08 | 1848.38 | P | G/Bas | G ou T | Quaternaire (Riss) |
| Bouches-du-Rhône | 13103001 | Salon-de-Provence | Richebois | 821.15 | 1856.20 | L(ph) | Dec | G ou T | Quaternaire |
| Bouches-du-Rhône | 13103002 | Salon-de-Provence | Saint - Tropez | 819.50 | 1855.50 | L(pd) | RP | G ou T | Quaternaire |
| Bouches-du-Rhône | 13105001 | Sénas | colline de la Cabre | 823.32 | 1863.55 | P | Fr | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Bouches-du-Rhône | 13118001 | Coudoux | Coudoux - La Fare | 834.25 | 1843.70 | P | FI | T | Quaternaire (Würm) |
| Calvados | 14021001 | Arromanches | | 385.50 | 2486.30 | S(ph) | Dec | G ou T | Quaternaire (Holocène) |
| Cher | 18108001 | La Guerche-sur-l'Aubois | La Guerche | 646.33 | 2218.23 | P | FN | T | Pliocène supérieur |
| Drôme | 26009001 | Andancette | Les Rostaings ou Beausembiant | 796.30 | 2026.70 | P | FN | T | Quaternaire inférieur |
| Drôme | 26009002 | Andancette | Saint-Philibert ou Grand Boeuf | 799.00 | 2026.30 | P | FN | T | Pliocène |
| Drôme | 26156001 | Larnage | | 799.25 | 2014.97 | P | FN | T | Pliocène |
| Drôme | 26156002 | Larnage | | 799.75 | 2014.17 | P | FN | T | Pliocène |
| Drôme | 26156003 | Larnage | les Choretz | 798.85 | 2016.87 | P | Dec | G ou T | Pliocène supérieur |
| Drôme | 26176001 | Marsanne | Mont Peyrieux | 800.75 | 1961.25 | S(ph) | G/Bas | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Drôme | 26213001 | Moras-en-Valloire | | 809.02 | 2035.59 | P | FN | T | Pliocène supérieur |
| Drôme | 26367001 | Venterol | La Sauve | 819.48 | 1937.06 | S(ph) | Dev | G | Pliocène supérieur |
| Eure | 27112001 | Breteuil | "delta" intérieur de l'Iton | 495.60 | 2427.40 | S(ph) | G | G ou T | Quaternaire ? |
| Eure | 27165001 | Conches-en-Ouches | | 497.70 | 2440.80 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire ? |
| Eure | 27170001 | Cormelles | | 457.20 | 2474.00 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire ? |
| Eure | 27202001 | Daubeuf-près-Vatteville | | 524.60 | 2474.90 | S(ph) | Dev | G ou T | Quaternaire ? |
| Eure | 27229001 | Evreux | l'Iton | 513.30 | 2447.90 | S(ph) | Dev | G ou T | Quaternaire ? |
| Eure | 27377001 | Lyons-la-Forêt | | 537.40 | 2489.30 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire ? |
| Eure | 27485001 | Quilleboeuf | | 468.60 | 2498.60 | L(ph) | Dec | G ou T | Quaternaire (Holocène) |
| Eure | 27681001 | Vernon | | 537.50 | 2454.90 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire ? |
| Eure-et-Loir | 28302001 | Pontgouin | | 513.10 | 2387.50 | L(pk) | Dec, Dev | G ou T | Plio-Quaternaire |
| Eure-et-Loir | 28324001 | Saint-Arnoult-des-Bois | | 520.50 | 2388.80 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire ? |
| Eure-et-Loir | 28373001 | Senonches | | 504.00 | 2396.50 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire ? |
| Gard | 30034001 | Bellegarde | carrière de Bellegarde | 772.50 | 1864.50 | P | Bas, mPli | G ou T | Quaternaire (Günz) |
| Gard | 30034002 | Bellegarde | Beaucaire - Espeyran | 771.04 | 1860.40 | L(pk) | Dec | G ou T | Pliocène |
| Gard | 30128001 | Génerac | les Costières | 763.00 | 1860.00 | S(pk) | Bas | T | Quaternaire inférieur |
| Gard | 30128002 | Génerac | Sainte-Vive - Captive | 763.70 | 1858.80 | P | Br, Bas, Disc | T | Quaternaire |
| Gard | 30135001 | Jonquières-Saint-Vincent | Orgnes - mas de Saleilles | 778.10 | 1873.20 | L(pk) | RP | G ou T | Quaternaire (Mindel) |
| Gard | 30145001 | Lédénon | | 775.72 | 1880.14 | P | Bas | T | Pliocène |
| Gard | 30217001 | Rochefort-du-Gard | | 789.00 | 1888.60 | P | G | G ou T | Quaternaire (Würm ?) |
| Gard | 30341001 | Vauvert | | 757.00 | 1856.50 | L(ph) | RP | G ou T | Pliocène |
| Gironde | 33003001 | Ambares-et-Lagrave | | 377.00 | 1995.80 | S(pk) | G | G ou T | Quaternaire |
| Gironde | 33077001 | Cabanac-et-Villagrains | | 370.50 | 1960.30 | S(pk) | Dec | G ou T | Quaternaire |
| Gironde | 33227001 | Langon | | 394.40 | 1953.40 | S(pk) | G | G ou T | Quaternaire |
| Hérault | 34032001 | Béziers | Pradines-le-Bas | 670.12 | 1819.76 | P | F | T | Quaternaire (Villafranchien) |
| Hérault | 34076001 | Ceyras | Rabieux | 689.00 | 1852.10 | L(ph) | G, RP | G ou T | Quaternaire (Riss) |

Tableau 1 (suite) - Indices néotectoniques répertoriés dans la base NEPAL

| département | numéro | nom de la commune | lieu-dit ou appellation de l'Indice | coord.X | coord.Y | emprise | nature | interprétation | âge des terrains les plus récents déformés |
|------------------|----------|------------------------------|---|---------|---------|---------|--------------|----------------|--|
| Hérault | 34129001 | Lattes | | 726.40 | 1841.80 | P | F, Br | T | Pliocène |
| Hérault | 34092001 | Cruzy | Creissan - Crussy | 649.00 | 1817.00 | L(ph) | F | T | Pliocène |
| Hérault | 34172001 | Montpellier | | 724.20 | 1845.70 | P | FI | T | Pliocène |
| Hérault | 34172002 | Montpellier | La Mosson | 719.60 | 1846.80 | P | Dec | G ou T | Pliocène |
| Hérault | 34233001 | Roqueredonda | l'Escandorgue | 670.30 | 1866.90 | P | FI | T | Plio-Quaternaire |
| Hérault | 34311001 | Tourbes | Le Rièges | 683.63 | 1828.50 | P | FI, mPli | T | Quaternaire inférieur |
| Isère | 38297001 | Passins | Morestel | 841.75 | 2079.65 | P | FI | T ou GT | Quaternaire |
| Isère | 38337001 | Rives | | 847.01 | 2044.36 | P | FN, Pli | T | Quaternaire (Würm) |
| Isère | 38359001 | Vertrieu | carrières de Sault brenaz | 837.70 | 2099.50 | P | FI, FN, mPli | T | Quaternaire (Würm) |
| Isère | 38383001 | Saint-Etienne-de-Crossey | | 859.86 | 2047.58 | P | FI, FN | T ou GT | Quaternaire (Würm) |
| Isère | 38386001 | Saint-Geoire-en-Valdaine | | 860.39 | 2057.03 | P | FN | GT | Quaternaire |
| Landes | 40024001 | Banos | | 361.20 | 1864.00 | S(ph) | G | G | Quaternaire (Riss) |
| Landes | 40028001 | Bastennes | | 347.80 | 1854.90 | S(ph) | Fr, Pli, G | G ou T | Quaternaire |
| Landes | 40121001 | Hauriet | | 355.35 | 1863.90 | P | Fr, Pli | T | Quaternaire (Riss) |
| Landes | 40125001 | Haugas | rivière de Luy | 323.80 | 1857.07 | S(ph) | G | G | Quaternaire (Mindel-Riss) |
| Landes | 40128001 | Horsarrieu | Labesque | 363.20 | 1859.70 | S(ph) | mF, Pli | T | Quaternaire (Riss) |
| Landes | 40180001 | Meilhan | | 355.00 | 1878.80 | P | FIDs | T | Quaternaire (Riss) |
| Landes | 40191001 | Montaut | carrière d'Arcet | 360.20 | 1864.30 | S(pk) | Dev | G | Quaternaire moyen |
| Landes | 40215001 | Ousse-Suzan | | 351.40 | 1888.80 | P | Dec, Dev | G ou T | Quaternaire moyen |
| Haute-Loire | 43021001 | Beaulieu | Sonnac | 726.38 | 2012.84 | P | G | G ou T | post-Oligocène |
| Haute-Loire | 43061001 | Chaspinhac | | 727.54 | 2008.99 | L(pk) | F | T | post-Oligocène |
| Haute-Loire | 43152001 | Polignac | Les Estreys | 716.50 | 2008.50 | L(pk) | F | T | Quaternaire (Villafranchien) |
| Haute-Loire | 43152002 | Polignac | coulée de la Chauze | 718.10 | 2008.00 | L(pk) | F | G ou T | Quaternaire (Villafranchien) |
| Haute-Loire | 43157001 | Le Puy | | 722.25 | 2004.00 | L(pk) | F | T | Quaternaire (Villafranchien ?) |
| Loire-Atlantique | 44083001 | La Limouzière | graben de la Marnière | 299.00 | 2228.50 | L(ph) | Dec | T | Pliocène supérieur |
| Loire-Atlantique | 44136001 | Préfaïlles | Pointe-Saint-Gildas | 254.50 | 2246.60 | S(ph) | Fr, G | G ou T | Plio-Quaternaire |
| Loire-Atlantique | 44156001 | Corcoué-sur-Logne | | 303.50 | 2226.50 | S(pk) | G | T | Plio-Quaternaire |
| Loire-Atlantique | 44182001 | Saint-Michel-Chef-Chef | Le Redois | 260.30 | 2252.00 | S(ph) | G/Bas, Fr | G ou T | Plio-Quaternaire |
| Loire-Atlantique | 44188001 | Saint-Philbert-de-Grand-Lieu | couloir "Le Maupas - Les Etangs" | 296.30 | 2230.50 | L(pk) | Dec | T | Pliocène |
| Loire-Atlantique | 44209001 | Treillières | Vallée du Gesvres | 300.50 | 2266.50 | S(ph) | Fr, G | T | Quaternaire inférieur |
| Lot-et-Garonne | 47195001 | Nérac | | 439.70 | 1905.80 | S(pk) | G | G | Quaternaire ? |
| Lozère | 48172001 | Saint-Maurice-de-Ventalon | Croix de Berthel | 718.61 | 1925.93 | L(pk) | RP | G ou T | Quaternaire ? |
| Maine-et-Loire | 49365001 | Les-Verchers-sur-Layon | | 400.30 | 2242.70 | S(pk) | Dec | G ou T | Pliocène |
| Manche | 50395001 | La Pernelle | Plateau de la Pernelle | 337.00 | 2519.70 | S(pk) | Dec | T | Quaternaire inférieur |
| Nièvre | 58065001 | Champvert | | 693.45 | 2202.30 | P | FN | T | Pliocène supérieur |
| Nièvre | 58067001 | Chantenay-Saint-Imbert | | 663.38 | 2194.00 | P | FN | T | Pliocène supérieur |
| Oise | 60367001 | Loconville | | 569.50 | 2473.20 | S(pk) | Dec | G ou T | fini-paléocène |
| Oise | 60452001 | Neuville-Bosc | | 576.30 | 2466.80 | S(pk) | Dec | G ou T | ? |
| Oise | 60586001 | Saint-Martin-le-Noeud | carrières souterraines de Saint-Martin-le-Noeud | 580.00 | 2488.70 | P | Fr | T | Plio-Quaternaire |
| Orne | 61206001 | Home-Chamondot | | 480.30 | 2400.10 | S(pk) | G | G ou T | ? |
| Pas-de-Calais | 62128001 | Blache-Saint-Vaast | gisement paléolithique de Biaches-Saint-Vaast | 643.63 | 2591.40 | P | FN, FD | T | Quaternaire moyen |
| Puy-de-Dôme | 63009001 | Ardes | Ardes-sur-Couze | 661.70 | 2045.10 | P | FN, Fr | T | Quaternaire (Riss à Holocène) |
| Puy-de-Dôme | 63113001 | Clermont-Ferrand | côtes de Clermont-Ferrand - Puy-du-Var | 659.00 | 2090.00 | L(pk) | Dec | T | Quaternaire (Günz) |
| Puy-de-Dôme | 63113001 | Clermont-Ferrand | maar de Clermont-Ferrand | 657.50 | 2086.00 | S(ph) | G | G ou T | Quaternaire |
| Puy-de-Dôme | 63113002 | Clermont-Ferrand | limagnes de Clermont-Ferrand | 658.00 | 2086.50 | S(pk) | G | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Puy-de-Dôme | 63125001 | Courpière | Axe Courpière - Néronde | 693.50 | 2084.50 | L(pk) | RP | G ou T | Quaternaire inférieur |

Tableau 1 (suite) - Indices néotectoniques répertoriés dans la base NEPAL

| département | numéro | nom de la commune | lieu-dit ou appellation de l'indice | coord.X | coord.Y | emprise | nature | interprétation | âge des terrains les plus récents déformés |
|----------------------|----------|--------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|----------------|---|
| Puy-de-Dôme | 63220001 | Mazoires | appareil de Mazoires | 656.00 | 2044.00 | P | Fr | T | Quaternaire (Riss) |
| Puy-de-Dôme | 63272001 | Pérignat-lès-Sarliève | marais de Sarliève | 664.00 | 2082.00 | S(pk) | G | G ou T | Quaternaire |
| Puy-de-Dôme | 63278001 | Peschadoires | axe Culhat - Peschadoires | 689.90 | 2092.40 | L(pk) | RP | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Puy-de-Dôme | 63317001 | Saint-André-le-Coq | la Morge | 675.60 | 2107.50 | S(pk) | Dev | G ou T | Quaternaire inférieur |
| Puy-de-Dôme | 63361001 | Saint-Hippolyte | paléolac de Saint-Hippolyte | 656.82 | 2107.74 | S(ph) | G | G ou T | Quaternaire |
| Pyrénées-Atlantiques | 64094001 | Bardos | | 313.00 | 1836.80 | S(pk) | Dec | T | Quaternaire (Villafranchien ?) |
| Pyrénées-Atlantiques | 64125001 | Bidart | Bidart-Caseville, côte des Basques | 283.00 | 1836.80 | S(pk) | Dec | T | Quaternaire (Villafranchien) |
| Pyrénées-Atlantiques | 64175001 | Castet | Col de Jaout | 381.60 | 1785.30 | P | G | G ou T | Actuel |
| Pyrénées-Atlantiques | 64178001 | Castetnau-Cambiong | | 346.60 | 1819.10 | P | RP | G ou T | Quaternaire (Mindel) |
| Pyrénées-Atlantiques | 64298001 | Lacarry | | 334.00 | 1792.50 | L(pk) | RP | G ou T | Plio-Quaternaire |
| Pyrénées-Atlantiques | 64341001 | Lichos | | 339.10 | 1816.70 | L(ph) | RP | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Pyrénées-Atlantiques | 64371001 | Mauléon-Licharre | moyenne vallée du Saison | 337.60 | 1807.60 | L(pk) | RP | G ou T | Pliocène |
| Pyrénées-Atlantiques | 64412001 | Nabas | | 339.20 | 1819.90 | L(pk) | RP | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Pyrénées-Atlantiques | 64483001 | Saint-Jean-de-Luz | | 279.75 | 1831.65 | S(pk) | Dec, Rp | T | Quaternaire (Villafranchien) |
| Pyrénées-Atlantiques | 64493001 | Saint-Palais | vallée de la Bidouze | 326.50 | 1820.00 | S(pk) | G | G ou T | Quaternaire (Riss ? Würm ?) |
| Pyrénées-Atlantiques | 64547001 | Ustaritz | | 292.20 | 1829.10 | S(pk) | G | G | Quaternaire |
| Pyrénées-Orientales | 66039001 | Caramany | | 619.10 | 1748.00 | P | FI, Br | T | Quaternaire |
| Pyrénées-Orientales | 66088001 | Ile-sur-Têt | | 622.50 | 1741.60 | P | FDs | T | Pliocène |
| Pyrénées-Orientales | 66121001 | Néfiach | | 627.10 | 1743.40 | P | FDd | T | Plio-Quaternaire |
| Pyrénées-Orientales | 66130001 | Osséja | | 570.70 | 1712.20 | P | FNDs | T | Quaternaire (Würm) |
| Pyrénées-Orientales | 66196001 | Sorède | | 650.70 | 1725.50 | P | FN, mF | T | Quaternaire (Riss) |
| Bas-Rhin | 67001001 | Achenheim | carrière d'Achenheim | 990.20 | 2410.80 | P | FN | T | Quaternaire (Mindel ? Riss ?) |
| Bas-Rhin | 67437001 | Saverne | carrière de Saverne | 969.30 | 2427.70 | P | FN | T | Quaternaire (Mindel) |
| Haut-Rhin | 68224001 | Mulhouse | | 974.30 | 2317.20 | L(pk) | Dec | T | Quaternaire |
| Saône-et-Loire | 71275001 | Marcigny | | 730.25 | 2144.60 | L(ph) | RP | G ou T | Quaternaire |
| Savoie | 73054001 | Bourg-Saint-Maurice | Peisey | 948.00 | 2072.00 | L(pk) | RP | T | Quaternaire (Würm) |
| Savoie | 73089001 | Coise-Saint-Jean-Pied-Gauthier | Banquette de Planaise | 895.70 | 2065.00 | L(ph) | RP | G ou T | Quaternaire (post Riss) |
| Savoie | 73105001 | Les Echelles | Saint-Pierre-de-Genebroz | 866.19 | 2056.19 | P | FI | T ou GT | Quaternaire supérieur |
| Savoie | 73228001 | Sonnaz | Le Fromaget | 877.40 | 2074.50 | P | FI, FN | T ou GT | Quaternaire (Würm) |
| Savoie | 73278001 | Saint-Rémy-de-Maurienne | | 907.60 | 2054.00 | L(pk) | RP | G ou T | Quaternaire (Holocène ?) |
| Savoie | 73328001 | Viviers-du-Lac | | 877.25 | 2078.50 | P | Fr | T ou GT | Quaternaire (Würm) |
| Savoie | 73329001 | Vogllans | | 877.40 | 2075.70 | P | FN | T ou GT | Quaternaire (Würm) |
| Haute-Savoie | 74114001 | Essert-Romand | sablères d'Essert-Romand | 934.50 | 2143.00 | P | FI | T ou GT | Quaternaire supérieur |
| Haute-Savoie | 74272001 | Sillingy | la Balme de Sillingy | 887.50 | 2112.80 | P | FI, FN | T ou GT | Quaternaire (Würm) |
| Seine-Maritime | 76209001 | Dampierre-en-Bray | | 550.90 | 2504.10 | S(pk) | Dec | G ou T | ? |
| Seine-Maritime | 76255001 | Eu | | 534.10 | 2561.80 | S(pk) | Dec | G ou T | ? |
| Seine-Maritime | 76259001 | Fécamp | | 458.50 | 2530.50 | S(pk) | Dec | G ou T | Pliocène supérieur |
| Seine-Maritime | 76289001 | Fréville | | 550.90 | 2504.10 | S(pk) | Dec | G ou T | Pliocène |
| Seine-Maritime | 76752001 | Yerville | | 495.80 | 2519.90 | S(pk) | Dec | G ou T | Pliocène |
| Seine-et-Marne | 77042001 | Boissy-le-Châtel | | 658.80 | 2425.00 | S(pk) | G | G ou T | ? |
| Deux-Sèvres | 79202001 | Parthenay | | 402.30 | 2186.40 | L(pk) | RP | G ou T | Pliocène |
| Deux-Sèvres | 79270001 | Saint-Maixent-l'École | fossé de Saint-Maixent | 404.70 | 2160.00 | L(pk) | RP | G ou T | post Paléogène |
| Somme | 80721001 | Saint-Valéry-sur-Somme | Bas-Champs-de-Cayeux | 551.00 | 2578.00 | L(pk) | Dec, RP | G ou T | Quaternaire (post Riss) |
| Tarn | 81081001 | Dourgne | Saint-Chipoli | 583.80 | 1831.40 | P | FI, Br | T | Quaternaire (Mindel ? Riss ?) |
| Tarn | 81288001 | Sorèze | Exploitation Giraud ou ferme de la Jasse | 577.10 | 1826.35 | P | FI, Br | T | Quaternaire (Mindel ? Riss ?) |
| Var | 83081001 | Montauroux | aqueduc romain de la Siagnole | 958.50 | 1853.75 | P | Dec | T | sub-Actuel |

Tableau 1 (suite) - Indices néotectoniques répertoriés dans la base NEPAL

| département | numéro | nom de la commune | lieu-dit ou appellation de l'indice | coord.X | coord.Y | emprise | nature | interprétation | âge des terrains les plus récents déformés |
|-------------|----------|--------------------------|--|---------|---------|---------|-----------------|----------------|---|
| Var | 83150001 | Vinon-sur-Verdon | | 880.3 | 1863.7 | P | FDd-I | T | Quaternaire (Würm) |
| Vaucluse | 84039001 | Courthézon | Cellier des Princes | 803.25 | 1902.73 | P | FI | T | Quaternaire (Mindel ? Riss ?) |
| Vaucluse | 84039002 | Courthézon | Latour | 803.17 | 1902.60 | P | FI | T | Quaternaire (Mindel ? Riss ?) |
| Vaucluse | 84039003 | Courthézon | La Graviouse | 803.95 | 1903.20 | P | Fr, Liquéfactio | T | Quaternaire (Riss ?) |
| Vaucluse | 84138001 | Vairéas | Bois de Vinsobres | 812.19 | 1930.04 | S(ph) | G | G ou T | Miocène moyen |
| Vaucluse | 84138002 | Vairéas | Grand Vallat | 814.68 | 1934.05 | S(ph) | G | G ou T | Miocène moyen |
| Vaucluse | 84037001 | Châteauneuf-du-Pape | ferme Baban | 801.50 | 1899.10 | P | FI | T | Quaternaire (Mindel ? Riss ?) |
| Vaucluse | 84106001 | Sainte-Cécile-les-Vignes | | 803.80 | 1919.50 | S(pk) | Dev | G ou T | Quaternaire |
| Vaucluse | 84096001 | Rasteau | montagne des Buisson | 811.20 | 1921.03 | S(pk) | G/Bas | G ou T | Pliocène |
| Vaucluse | 84019001 | Bollène | Saint Pierre | 792.38 | 1925.51 | P | Dec | G ou T | Pliocène |
| Vaucluse | 84038001 | Cheval-Blanc | seuil d'Orgon | 820.00 | 1871.00 | S(pk) | Dev | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Vaucluse | 84035001 | Cavaillon | Rocher Saint-Jacques | 816.75 | 1874.40 | S(ph) | G | G ou T | Quaternaire (Würm) |
| Vendée | 85051001 | Chantonnay | | 340.70 | 2193.10 | S(pk) | Dec | T | Pliocène ? |

Dec = décalage altitudinal
 mF = microfailles
 FI = faille inverse
 Br = brèche
 DI = discordance
 ZS = soulèvement
 Dev = déviation de cours d'eau
 D = discontinuité
 Bas = basculement

T = tectonique
 GT = glactectonique
 G = géomorphologique

P = ponctuelle
 L = Linéaire
 S = surfacique

Tableau 1 (suite) - Indices néotectoniques répertoriés dans la base NEPAL

3.2. BILAN DES INFORMATIONS RECENSEES

Les figures 4 à 7 présentent les indices répertoriés dans la base.

- Hormis pour la région nord-est de la France (fossé rhénan, en particulier), la répartition des indices néotectoniques est relativement représentative des mouvements tectoniques récents ayant pu affecter la métropole française.

La figure 4 présente la carte des failles réalisée dans le cadre du zonage sismotectonique de la France effectué récemment sur laquelle sont reportés les indices de la base NEPAL avec indication de la qualité correspondante.

Dans les Hautes Alpes, la Savoie et l'Isère, plusieurs déformations cassantes (failles normales ou inverses) sont localement observées, mais clarifier leur origine tectonique ou glacitectonique, demeure difficile.

Par contre, dans les Alpes du sud, l'origine tectonique des déformations paraît clairement affirmée.

Dans le nord de la France, les indices décrits sont généralement de nature géomorphologique et l'interprétation de leur origine est souvent confuse (géomorphologique ou tectonique ?).

- Près de la moitié des indices (97 sur 206) ont une emprise très localisée ; ensuite, il s'agit d'informations relativement étendues (72 ont une emprise surfacique, dont 44 d'ordre kilométrique), puis d'indices de déformations linéaires (35 au total).

Selon les critères de qualification cités au § 3.1, la base NEPAL regroupe 31 indices très fiables sur 206, soit une proportion de 15%. De plus, pour la majeure partie, ils ont une emprise ponctuelle et une interprétation d'origine tectonique est associée. Ces indices constituent donc des cibles paléosismiques privilégiées. A ce jour, quatre d'entre eux ont pu faire l'objet d'une étude paléosismique (cf. chap. 5).

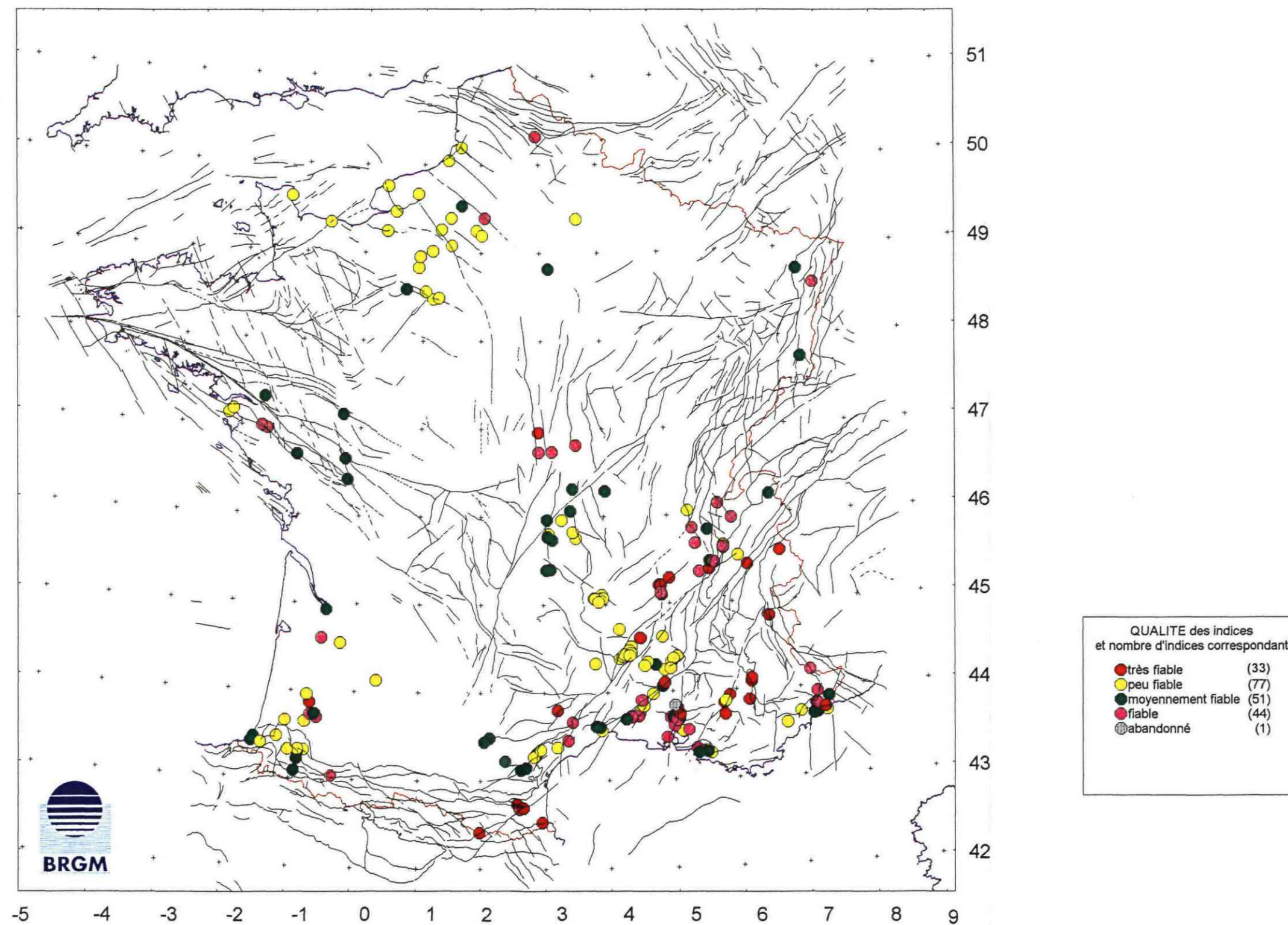


figure 4 - Carte des indices de la base NEPAL, avec indication de leur qualité, et des principales failles (état de la base à fin 1996)

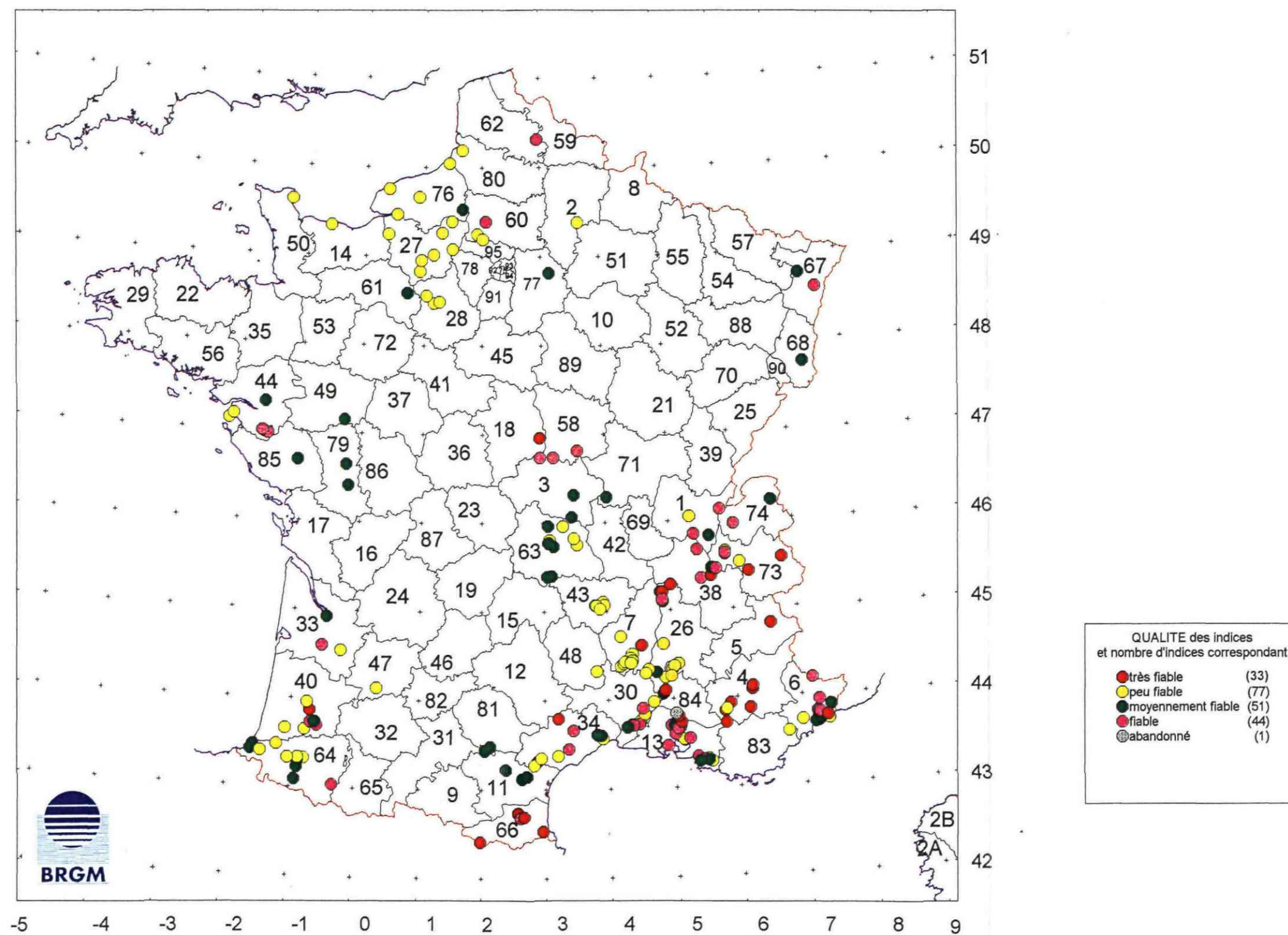


figure 5 - Carte des indices de la base NEPAL, avec indication de leur qualité, et répartition par départements (état de la base à fin 1996)

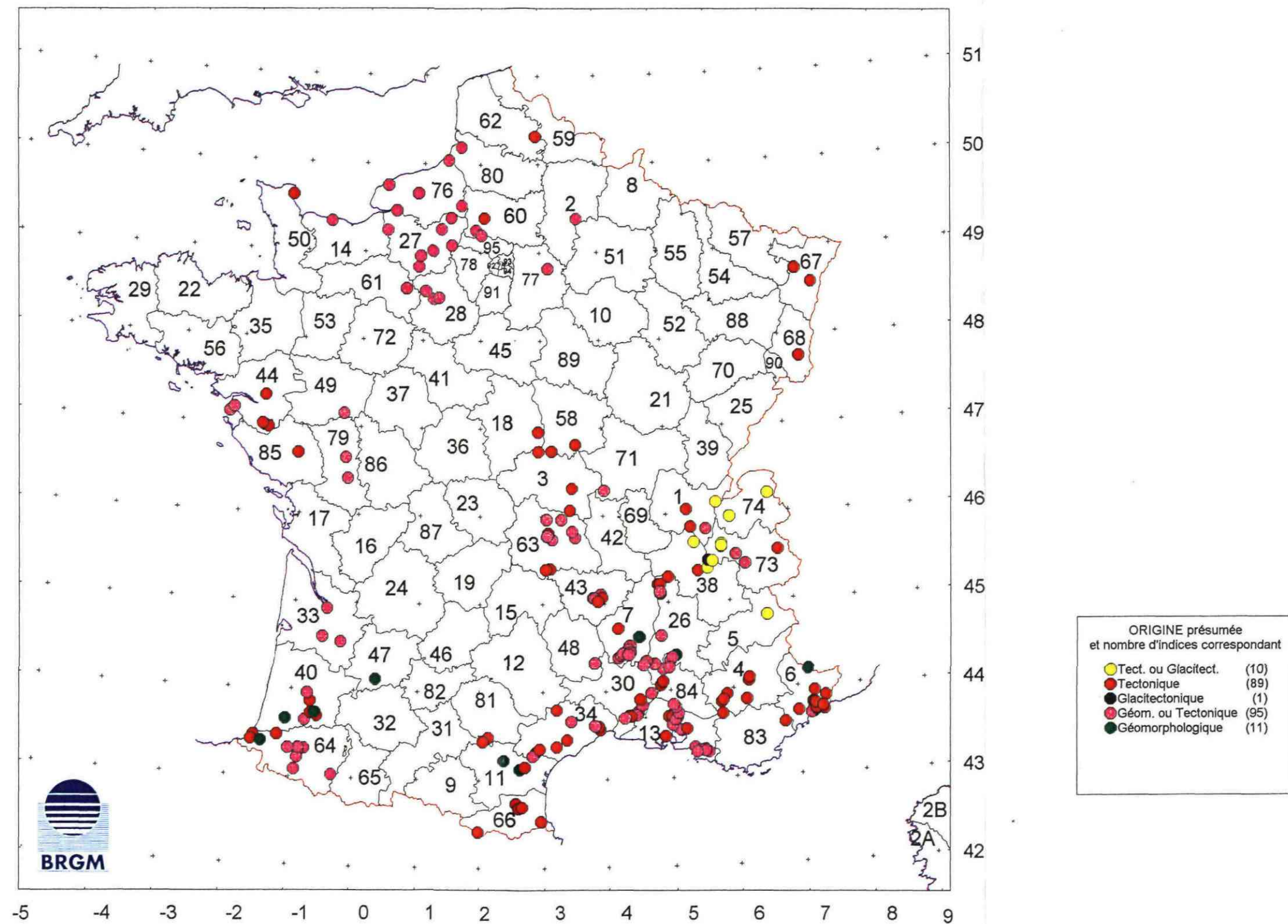


figure 6 - Carte des indices de la base NEPAL, avec indication de leur origine présumée (état de la base à fin 1996)

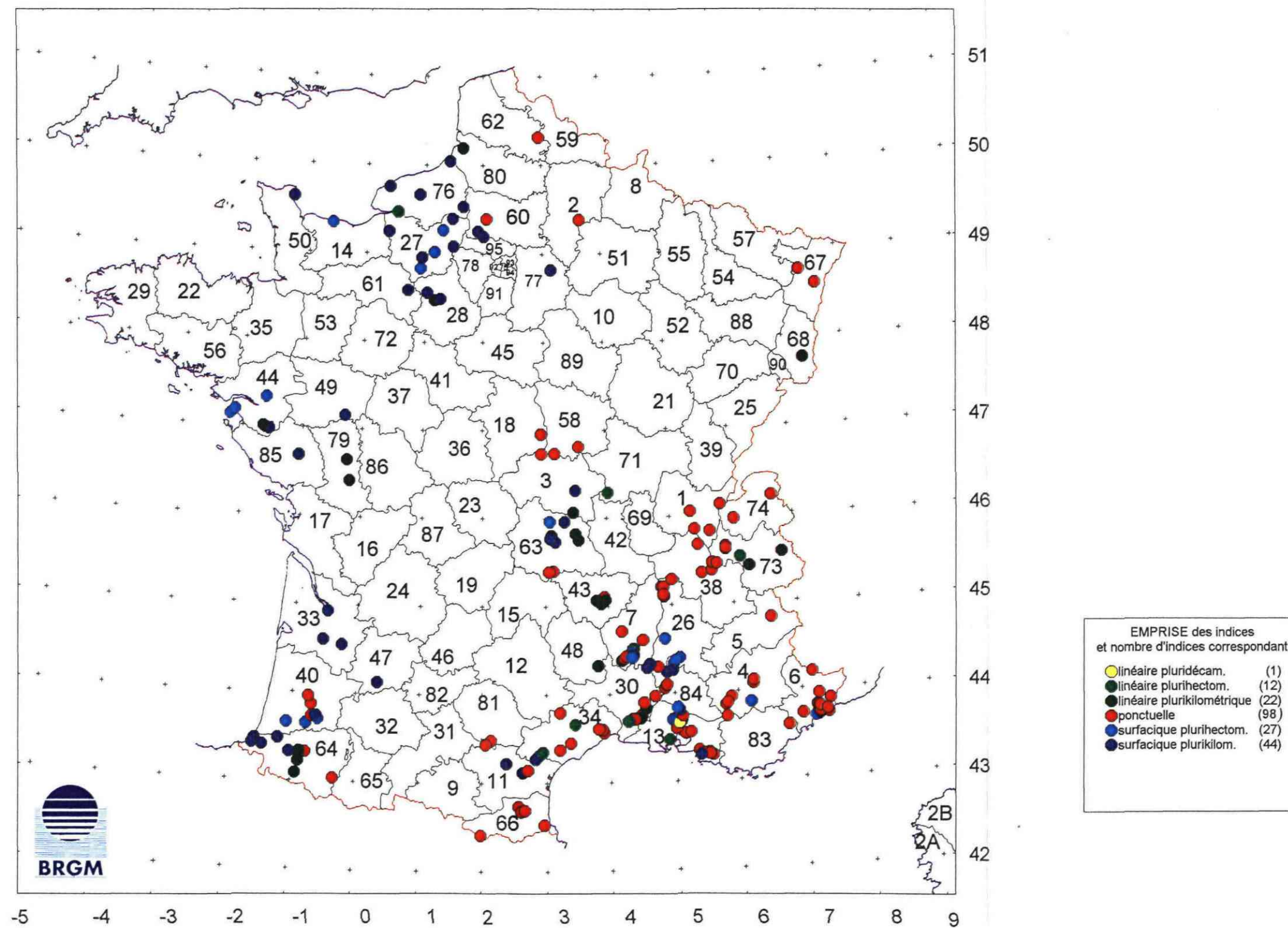


figure 7 - Carte des indices de la base NEPAL, avec indication de leur emprise (état de la base à fin 1996)

4. Qualité des indices et priorités d'action

Le tableau 2 correspond à une première analyse de l'ensemble des indices, il précise :

- la **qualité** de l'indice, celle-ci est estimée de la façon suivante :

tf=très fiable, description très claire dans les documents d'origine (illustrations, mesures) et indice nettement visible sur le terrain

f=fiable, description très claire dans les documents d'origine (illustrations, mesures), par plusieurs auteurs ou par plusieurs approches différentes (par exemple sondages et morphologie)

mf=moyennement fiable, description de l'indice relativement claire, mais absence d'illustration ou de mesure.

pf=peu fiable, description évasive.

- les **priorités d'action** à entreprendre pour la validation de l'indice et son interprétation.

D'autres informations particulières peuvent être attachées à certains indices, elles sont précisées sous la rubrique **remarque**.

| département | numéro | nom de la commune | priorités d'action | qualité | remarques |
|-------------------------|----------|----------------------------|---|---------|--------------|
| Ain | 1205001 | Lancrans | vérif. terrain par géomorpho. | f | |
| Ain | 1304001 | Pont-d'Ain | datation | pf | |
| Ain | 1316001 | Pugieu | vérif. terrain | mf | |
| Aisne | 2797001 | Viel-Arcy | vérif. terrain par géomorpho. | pf | |
| Allier | 3034001 | Boucé | vérif. terrain | mf | mal localisé |
| Allier | 3155001 | Lurcy-Lévis | vérif. terrain par géom. | f | |
| Allier | 3264001 | Saint-Yorre | vérif. terrain | mf | |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4034001 | La Brillanne | vérif. terrain par géom. et an. paléaos. | tf | |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4070001 | Digne | an. paléosismicité | tf | |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4112001 | Manosque | an. paléosismicité | tf | |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4113001 | Marcoux | an. paléosismicité | tf | |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4135001 | Moustiers-Sainte-Marie | an. contexte struct. local | tf | |
| Alpes-de-Haute-Provence | 4245001 | Volx | vérif. terrain | pf | |
| Hautes-Alpes | 5151001 | Saint-Martin-de-Queyrières | vérif. terrain par géomorpho. | tf | |
| Alpes-Maritimes | 6034001 | Castagniers | an. contexte struct. local | f | |
| Alpes-Maritimes | 6059001 | Eze | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | pf | |
| Alpes-Maritimes | 6073001 | Isola | après tranchée, interprétation G | f | |
| Alpes-Maritimes | 6088001 | Nice | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | mf | |
| Alpes-Maritimes | 6088002 | Nice | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | f | |
| Alpes-Maritimes | 6088003 | Nice | an. contexte struct. local | mf | |
| Alpes-Maritimes | 6088004 | Nice | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | f | |
| Alpes-Maritimes | 6088005 | Nice | vérif. terrain, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | mf | |
| Alpes-Maritimes | 6088006 | Nice | vérif. terrain, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | mf | |
| Alpes-Maritimes | 6088007 | Nice | vérif. terrain, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | mf | |
| Alpes-Maritimes | 6136001 | Sospel | vérif. terrain, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | mf | |
| Alpes-Maritimes | 6136002 | Sospel | vérif. terrain, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | mf | |
| Alpes-Maritimes | 6147001 | Tourrette-Levens | vérif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Alpes-Maritimes | 6147002 | Tourrette-Levens | vérif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Alpes-Maritimes | 6148001 | Tourettes-sur-Loup | vérif. terrain et an. des autres affleur. plic. proches | pf | |
| Alpes-Maritimes | 6149001 | La Trinité | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | tf | |
| Alpes-Maritimes | 6151001 | Utelle | an. par géom., datation (stalagmite) et an. paléaos. | f | |
| Ardèche | 7023001 | Balazuc | vérif. terrain | pf | |
| Ardèche | 7031001 | Berrias | vérif. terrain | pf | |
| Ardèche | 7053001 | Chandolas | vérif. terrain | pf | |
| Ardèche | 7066001 | Chomeric | vérif. terrain, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | pf | |
| Ardèche | 7159001 | Mirabel | origine G après vérif. terrain | tf | |
| Ardèche | 7183001 | Pradons | vérif. terrain | pf | |
| Ardèche | 7207001 | Saint-Alban - Auriolles | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local | pf | |
| Ardèche | 7207002 | Saint-Alban - Auriolles | vérif. terrain | pf | |
| Ardèche | 7218001 | Lagorce | vérif. terrain | pf | |
| Ardèche | 7264001 | Saint-Marcel-d'Ardèche | vérif. terrain | pf | |
| Ardèche | 7268001 | Saint-Martin-d'Ardèche | vérif. terrain | pf | |
| Ardèche | 7330001 | vallon-Pont-d'Arc | vérif. terrain | pf | |
| Aude | 11041001 | Bize-Minervois | vérif. terrain, an. contexte struct. local | mf | |
| Aude | 11064001 | Camplong-d'Aude | vérif. terrain | mf | |
| Aude | 11069001 | Carcassonne | vérif. terrain | mf | |
| Aude | 11132001 | Fabrezan | vérif. terrain, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | mf | |
| Aude | 11366001 | Sainte-Vallière | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Bouches-du-Rhône | 13002001 | Allauch | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |

Tableau 2 - Indices néotectoniques de la base NEPAL :
qualité et priorité d'action(s) à entreprendre

| département | numéro | nom de la commune | priorités d'action | qualité | remarques |
|------------------|----------|--------------------------|---|---------|--|
| Bouches-du-Rhône | 13005001 | Aubagne | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | pf | localisation imprécise |
| Bouches-du-Rhône | 13006001 | Aureille | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local | f | |
| Bouches-du-Rhône | 13035001 | Eyguières | an. contexte struct. local et an. paléos. | tf | difficulté de corréler la faille visible à l'affleurement à une structure plus grande |
| Bouches-du-Rhône | 13035002 | Eyguières | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local | mf | |
| Bouches-du-Rhône | 13035003 | Eyguières | an. contexte struct. local | tf | arguments aussi bien pour une origine G ou T (non contradictoires) |
| Bouches-du-Rhône | 13035004 | Eyguières | vérif. terrain, an. contexte struct. local | mf | |
| Bouches-du-Rhône | 13039001 | Fos-sur-Mer | retour aux profils géophysiques (localisation D) et an. contexte struct. local | f | localisation imprécise |
| Bouches-du-Rhône | 13049001 | Lamanon | an. contexte struct. local | tf | arguments aussi bien pour une origine G ou T (non contradictoires) |
| Bouches-du-Rhône | 13051001 | Lançon-de-Provence | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Bouches-du-Rhône | 13055001 | Marseille | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local | f | |
| Bouches-du-Rhône | 13055002 | Marseille | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | f | |
| Bouches-du-Rhône | 13055003 | Marseille | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local | mf | localisation très imprécise |
| Bouches-du-Rhône | 13055003 | Marseille | vérif. terrain, an. contexte struct. local | mf | concerne l'ensemble du bassin de Marseille |
| Bouches-du-Rhône | 13063001 | Miramas | an. contexte struct. local | f | vérif. terrain faite (pendage de 10°N des alluvions), reste à définir origine G ou T ? |
| Bouches-du-Rhône | 13103001 | Salon-de-Provence | retour aux données de sondages (loc. Dec et nature des terrain) et an. contexte struct. local | f | arguments aussi bien pour une origine G ou T (non contradictoires) |
| Bouches-du-Rhône | 13103002 | Salon-de-Provence | retour aux études piézométriques (localisation RP) et an. contexte struct. local | f | arguments aussi bien pour une origine G ou T (non contradictoires) |
| Bouches-du-Rhône | 13105001 | Sénas | an. par géom. et an. contexte struct. local | tf | ambiguïté sur l'origine |
| Bouches-du-Rhône | 13118001 | Coudoux | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | f | affleurement disparu (autoroute) |
| Calvados | 14021001 | Arromanches | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | pf | |
| Cher | 18108001 | La Guerche-sur-l'Aubois | an. contexte struct. local | tf | |
| Drôme | 26009001 | Andancette | an. contexte struct. local | tf | |
| Drôme | 26009002 | Andancette | an. contexte struct. local | tf | |
| Drôme | 26156001 | Larnage | an. contexte struct. local | tf | |
| Drôme | 26156002 | Larnage | an. contexte struct. local | tf | |
| Drôme | 26158003 | Larnage | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local | f | |
| Drôme | 26176001 | Marsanne | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Drôme | 26213001 | Moras-en-Valloire | vérif. terrain, an. contexte struct. local | tf | |
| Drôme | 26367001 | Venterol | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Eure | 27112001 | Breteuil | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | anomalie géomorphologique avec peu d'explications |
| Eure | 27165001 | Conches-en-Ouches | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Eure | 27170001 | Cormeilles | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Eure | 27202001 | Daubeuf-près-Vatteville | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Eure | 27229001 | Evreux | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Eure | 27377001 | Lyons-la-Forêt | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Eure | 27485001 | Quilleboeuf | retour aux données de sondages (loc. Dec et nature des terrain) et an. contexte struct. local | pf | origine paléomorphologique du décalages difficile à vérifier, mais la plus probable |
| Eure | 27681001 | Vernon | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Eure-et-Loir | 28302001 | Pontgouin | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Eure-et-Loir | 28324001 | Saint-Arnoult-des-Bois | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Eure-et-Loir | 28373001 | Senonches | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Gard | 30034001 | Bellegarde | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Gard | 30034002 | Bellegarde | retour aux données de sondages (loc. Dec et nature des terrain) et an. contexte struct. local | f | |
| Gard | 30128001 | Génerac | vérif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Gard | 30128002 | Génerac | vérif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Gard | 30135001 | Jonquières-Saint-Vincent | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Gard | 30145001 | Lédenon | vérif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Gard | 30217001 | Rochefort-du-Gard | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Gard | 30341001 | Vauvert | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | hypothèse controversée sur l'existence même de l'indice |
| Gironde | 33003001 | Ambares-et-Lagrave | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Gironde | 33077001 | Cabanac-et-Villagrains | an. par géom. et an. contexte struct. local | f | |
| Gironde | 33227001 | Langon | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |

Tableau 2 (suite) - Indices néotectoniques de la base NEPAL :
qualité et priorité d'action(s) à entreprendre

| département | numéro | nom de la commune | priorités d'action | qualité | remarques |
|------------------|----------|------------------------------|---|---------|---|
| Hérault | 34032001 | Béziers | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | problème de référence bibliographique |
| Hérault | 34078001 | Ceyras | vérif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Hérault | 34129001 | Lattes | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Hérault | 34092001 | Cruzy | vérif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Hérault | 34172001 | Montpellier | an. contexte struct. local | mf | |
| Hérault | 34172002 | Montpellier | retour aux données de sondages (loc. Dec et nature des terrain) et an. contexte struct. local | mf | |
| Hérault | 34233001 | Roqueronde | vérif. terrain, an. contexte struct. local, év. ét. de paléosismicité | tf | |
| Hérault | 34311001 | Tourbes | vérif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Isère | 38297001 | Passins | an. par géom. et an. contexte struct. local | f | déformations peu visibles à l'affleurement |
| Isère | 38337001 | Rives | an. contexte struct. local | f | |
| Isère | 38359001 | Vertrieu | an. par géom. et an. contexte struct. local | f | |
| Isère | 38383001 | Saint-Etienne-de-Crossey | an. par géom. et an. contexte struct. local | tf | |
| Isère | 38386001 | Saint-Geoire-en-Valdaine | an. par géom. | mf | |
| Landes | 40024001 | Banos | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | à lui seul, argument néotectonique de peu de poids |
| Landes | 40028001 | Bastennes | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Landes | 40121001 | Hauriet | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | |
| Landes | 40125001 | Heugas | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Landes | 40128001 | Horsarrieu | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | |
| Landes | 40180001 | Meilhan | datation, an. contexte struct. local, puis, an. de paléosismicité | tf | |
| Landes | 40191001 | Montaut | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Landes | 40215001 | Ousse-Suzan | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Haute-Loire | 43021001 | Beaulieu | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Haute-Loire | 43061001 | Chaspinhac | verif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Haute-Loire | 43152001 | Polignac | vérif. terrain, an. contexte struct. local, év. ét. de paléosismicité | pf | |
| Haute-Loire | 43152002 | Polignac | vérif. terrain, an. contexte struct. local, év. ét. de paléosismicité | pf | |
| Haute-Loire | 43157001 | Le Puy | vérif. terrain, datation, an. contexte struct. local, év. ét. de paléosismicité | pf | |
| Loire-Atlantique | 44083001 | La Limouzinière | retour aux profils géophysiques (loc. D) et données de sondages et an. contexte struct. local | f | indice intéressant, mais références biblio. pauvres |
| Loire-Atlantique | 44136001 | Préfailles | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Loire-Atlantique | 44156001 | Corcoué-sur-Logne | an. par géom. et an. contexte struct. local | f | |
| Loire-Atlantique | 44182001 | Saint-Michel-Chef-Chef | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Loire-Atlantique | 44188001 | Saint-Philbert-de-Grand-Lieu | retour aux profils géophysiques (loc. D) et données de sondages et an. contexte struct. local | f | |
| Loire-Atlantique | 44209001 | Treillières | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Lot-et-Garonne | 47195001 | Nérac | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | à lui seul, argument néotectonique de peu de poids |
| Lozère | 48172001 | Saint-Maurice-de-Ventalon | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | pf | si vérification de terrain positive, bon site d'étude paléosismique |
| Maine-et-Loire | 49365001 | Les-Verchers-sur-Layon | verif. terrain, an. contexte struct. local | mf | |
| Manche | 50395001 | La Pernelle | verif. terrain, datations, an. contexte struct. local, puis év. an. de paléosis. | pf | |
| Nièvre | 58055001 | Champvert | verif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Nièvre | 58057001 | Chantenay-Saint-Imbert | verif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Oise | 60367001 | Loconville | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | argumentaire difficile à contrôler |
| Oise | 60452001 | Neuville-Bosc | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Oise | 60586001 | Saint-Martin-le-Noeud | verif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Orne | 61206001 | Home-Chamondot | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Pas-de-Calais | 62128001 | Biache-Saint-Vaast | an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | |
| Puy-de-Dôme | 63009001 | Ardes | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | mf | |
| Puy-de-Dôme | 63113001 | Clermont-Ferrand | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |

Tableau 2 (suite) - Indices néotectoniques de la base NEPAL :
qualité et priorité d'action(s) à entreprendre

| département | numéro | nom de la commune | priorités d'action | qualité | remarques |
|----------------------|----------|--------------------------------|--|---------|--|
| Puy-de-Dôme | 63113001 | Clermont-Ferrand | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Puy-de-Dôme | 63113002 | Clermont-Ferrand | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Puy-de-Dôme | 63125001 | Courpière | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | à lui seul, argument néotectonique de peu de poids |
| Puy-de-Dôme | 63220001 | Mazoires | verif. terrain, an. contexte struct. local | mf | |
| Puy-de-Dôme | 63272001 | Pérignat-lès-Sarliève | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Puy-de-Dôme | 63276001 | Peschadoires | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | à lui seul, argument néotectonique de peu de poids |
| Puy-de-Dôme | 63317001 | Saint-André-le-Coq | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | à lui seul, argument néotectonique de peu de poids |
| Puy-de-Dôme | 63361001 | Saint-Hippolyte | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64094001 | Bardos | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local | pf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64125001 | Bidart | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | mf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64175001 | Castet | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | anomalie des profils de nivellements comparés, 25cm entre 1949 et 1982 |
| Pyrénées-Atlantiques | 64178001 | Castetnau-Camblong | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | à lui seul, argument néotectonique de peu de poids |
| Pyrénées-Atlantiques | 64298001 | Lacarry | verif. terrain, an. contexte struct. local | mf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64341001 | Lichos | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | mf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64371001 | Mauléon-Licharre | verif. terrain, an. contexte struct. local | mf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64412001 | Nabas | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | pf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64483001 | Saint-Jean-de-Luz | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | mf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64493001 | Saint-Palais | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Pyrénées-Atlantiques | 64547001 | Ustaritz | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | origine diapirique possible |
| Pyrénées-Orientales | 66039001 | Caramany | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | tf | |
| Pyrénées-Orientales | 66088001 | Ille-sur-Têt | verif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| Pyrénées-Orientales | 66121001 | Néfiach | verif. terrain, an. contexte struct. local | tf | |
| Pyrénées-Orientales | 66130001 | Osséja | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | tf | |
| Pyrénées-Orientales | 66196001 | Sorède | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | tf | |
| Bas-Rhin | 67001001 | Achenheim | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | |
| Bas-Rhin | 67437001 | Saverne | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | mf | |
| Haut-Rhin | 68224001 | Mulhouse | analyse des données de sondages et vérification sur le terrain | mf | |
| Saône-et-Loire | 71275001 | Marcigny | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | mf | indice intéressant pour étude paléosismique éventuelle |
| Savoie | 73054001 | Bourg-Saint-Maurice | an. géom., datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | tf | |
| Savoie | 73089001 | Coise-Saint-Jean-Pied-Gauthier | verif. terrain, an. contexte struct. local | pf | |
| Savoie | 73105001 | Les Echelles | an. par géom. et an. contexte struct. local | f | vérification de l'indice sur le terrain faite |
| Savoie | 73228001 | Sonnaz | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | origine tectonique probable, car le substratum miocène est aussi déformé |
| Savoie | 73278001 | Saint-Rémy-de-Maurienne | an. par géom. et an. contexte struct. local | tf | vérification de l'indice sur le terrain faite, mal localisé sur fiche |
| Savoie | 73328001 | Viviers-du-Lac | verif. terrain, an. contexte struct. local | pf | réf. biblio. pauvre |
| Savoie | 73329001 | Voglans | an. géom., an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | |
| Haute-Savoie | 74114001 | Essert-Romand | verif. terrain et an. géom., an. contexte struct. local | mf | |
| Haute-Savoie | 74272001 | Sillingy | an. géom., an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | |
| Seine-Maritime | 76209001 | Dampierre-en-Bray | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Seine-Maritime | 76255001 | Eu | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Seine-Maritime | 76259001 | Fécamp | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Seine-Maritime | 76289001 | Fréville | an. par géom. et an. contexte struct. local | mf | |
| Seine-Maritime | 76752001 | Yerville | an. par géom. et an. contexte struct. local | pf | |
| Seine-et-Marne | 77042001 | Boissy-le-Châtel | an. géom., vérif. terrain et an. du contexte structural local | mf | |
| Deux-Sèvres | 79202001 | Parthenay | an. géom. et du contexte structural local | mf | |
| Deux-Sèvres | 79270001 | Saint-Maixent-l'École | an. géom. et du contexte structural local | mf | |
| Somme | 80721001 | Saint-Valéry-sur-Somme | analyse des sondages, étude géom., an. contexte structural | pf | argumentaire difficile à contrôler. |

Tableau 2 (suite) - Indices néotectoniques de la base NEPAL :
qualité et priorité d'action(s) à entreprendre

| département | numéro | nom de la commune | priorités d'action | qualité | remarques |
|-------------|----------|--------------------------|--|---------|---|
| Tarn | 81081001 | Dourgne | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | mf | |
| Tarn | 81288001 | Sorèze | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | mf | confusion possible dans la localisation avec le n°81081001 (équivalents ?) |
| Var | 83081001 | Montauroux | analyse des données archéologiques | pf | rejet de plus de 15 m paraît impossible pour une période aussi courte (1400 ans) compte-rendu BRGM Cr 95-112 |
| Var | 83150001 | Vinon-sur-Verdon | analyse du contexte structural et étude paléosismique | tf | |
| Vaucluse | 84039001 | Courthézon | datations absolues, poursuite de l'étude paléosismicité | tf | résultat de paléosismicité |
| Vaucluse | 84039002 | Courthézon | datations absolues, poursuite de l'étude paléosismicité | tf | résultat de paléosismicité |
| Vaucluse | 84039003 | Courthézon | datations absolues, poursuite de l'étude paléosismicité | tf | résultat de paléosismicité |
| Vaucluse | 84138001 | Valréas | an. géom. et du contexte structural local | pf | argument néotectonique de peu de poids |
| Vaucluse | 84138002 | Valréas | an. géom. et du contexte structural local | pf | argument néotectonique de peu de poids |
| Vaucluse | 84037001 | Châteauneuf-du-Pape | rafraichissement de l'affleurement, an. du contexte structural local et év. ét. de paléosis. | mf | |
| Vaucluse | 84106001 | Sainte-Cécile-les-Vignes | an. géom. et du contexte structural local | pf | argument néotectonique de peu de poids |
| Vaucluse | 84096001 | Rasteau | an. géom. et du contexte structural local | pf | argument néotectonique de peu de poids |
| Vaucluse | 84019001 | Bollène | verif. terrain, an. contexte struct. local | mf | affleurement aujourd'hui masqué |
| Vaucluse | 84038001 | Cheval-Blanc | an. géom. et du contexte structural local | tf | mouvement à intégrer dans un schéma géodynamique régional |
| Vaucluse | 84035001 | Cavaillon | sans objet (erreur de l'auteur initial sur l'interprétation) | abandon | après vérif. de terrain, confusion dans l'interprétation de l'auteur (élément archéol.) |
| Vendée | 85051001 | Chantonnay | an. géom., datation, et ét. du contexte structural local | mf | |

Tableau 2 (suite) - Indices néotectoniques de la base NEPAL :
qualité et priorité d'action(s) à entreprendre

5. Comptes-rendus de missions

Les comptes-rendus de mission sont présentés en annexe 1.

5.1. COMPTE-RENDU DE MISSION DU 06/09/94

→ Lieu : ISOLA 2000 (Alpes-Maritimes)

→ Objet : **Etude d'une tranchée** réalisée entre le 05/09 et le 14/09/94, pour analyser l'activité quaternaire d'une des branches de la faille de l'Argentera-Bersezio (*INDICE 6073001*)

→ Conclusion : pas de preuve indiscutable de déformation tectonique récente

5.2. COMPTE-RENDU DE MISSION DU 13/02/95

→ Lieu : Nîmes

→ Objet : **Réunion d'Archéologues, d'ingénieurs de structures, d'architectes, de sismologues et de sismotectoniciens** pour tenter d'utiliser certaines observations archéologiques comme indicateur de séismes.

→ Conclusion : Les discussions qui ont eu lieu à l'occasion des diverses visites de sites archéologiques ont montré tout l'intérêt que pouvaient apporter les **marqueurs archéologiques dans l'étude et la localisation des mouvements tectoniques et des paléoséismes récents.**

5.3. COMPTE-RENDU DE MISSION DU 18/10/95

→ Lieu : Saint-Maurice-de-Ventalon

→ Objet : **Réunion sur le terrain avec le groupe de travail "Néotectonique et paléosismicité"**. Le but de cette visite était d'observer les tranchées effectuées pour une étude de paléosismicité par GEO-TER S.A. pour le compte de l'IPSN, sur l'*INDICE 48172001*.

→ Conclusion : **La rupture de pente décrite à l'origine en tant qu'indice néotectonique correspond en fait à la trace (ligne d'arrachement) d'un ancien glissement, survenu le long du tracé d'une faille mylonitique tardi-hercynienne.**

5.4. COMPTE-RENDU DE MISSION DU 12/11/95

→ Lieu : Vinon-sur-Verdon (sud)

→ Objet : Réunion sur le terrain avec le groupe de travail "Néotectonique et paléosismicité" autour des tranchées effectuées pour une étude de paléosismicité par GEO-TER S.A., à 500 m au sud du village de Vinon-sur-Verdon, *INDICE 83150001*

→ Conclusion : observation d'une faille WNW-ESE, à mouvement décrochant dextre et peut être à composante inverse, ayant rejoué à la fin du Würm (-10 000 BP), faille probablement conjuguée à la grande faille de la moyenne Durance.

6. Résultats des analyses de paléosismicité

- Sur plusieurs ruptures en surface observées dans le sud-est de la France, nous avons procédé à des analyses de paléosismicité :

- Indice 04112001 (Manosque/ravin de Valvéranne)

- Indice 84039001 (Courthézon / cellier des Princes), Indice 84039002 (Courthézon / Latour) et Indice 84039003 (Courthézon / La Graviouse).

- En liaison avec le programme de recherche sur les risques naturels (Projet P50 du BRGM), les résultats de ces interprétations ont été présentés et publiés dans trois colloques internationaux (annexe 2) :

- **Fifth International Conference on Seismic Zonation (5th ICSZ)**, Nice - France, October 17th-19th, 1995

- **Sixième Séminaire Maghrébin de Génie Parasismique**, Tunis, 7-9 décembre, 1995

- **XXV General Assembly of the European Seismological Commission (ESC)**, Reykjavik, Iceland, September 9-14, 1996

7. Résultats et évolution de la base

- Les travaux réalisés depuis 4 ans dans le cadre de cette fiche ont permis de rassembler et de structurer les informations sur les déformations récentes en une base documentaire. Ces informations étaient jusqu'alors dispersées, et nécessitaient un recours laborieux aux sources descriptives initiales. Il était par ailleurs difficile d'avoir une vision globale de la répartition et de la qualité de l'ensemble de ces indices sur le territoire français.

Aujourd'hui, grâce à la base NEPAL, les documents originaux décrivant les indices sont directement accessibles, et l'analyse qui en est faite au niveau des fiches documentaires permet à tout utilisateur d'en obtenir une description synthétique et objective. Ces dossiers sont consultés à la fois dans le cadre de travaux de recherche fondamentale sur les déformations néotectoniques, mais aussi dans le cadre d'études d'ingénierie relatives aux évaluations d'aléa sismique.

La base NEPAL a par ailleurs, apportée des éléments de référence néotectoniques nécessaires à l'élaboration de la synthèse sismotectonique de la France continentale récemment établie en vue de l'application des règles parasismiques des installations classées (Blès et al., 1996).

- La base NEPAL doit être tenue à jour, notamment en fonction de résultats de travaux faisant l'objet de nouvelles publications.

Aujourd'hui, plusieurs indices ont fait l'objet d'analyse détaillée sur le terrain, certains indices, jusqu'alors retenus comme indice néotectonique, ont vu leur interprétation tectonique écartée ; par contre, d'autres indices ont conduit à la description précise de rupture(s) en surface et à l'évaluation de paléoséisme(s).

Progressivement, chacun des indices répertoriés dans la base doit pouvoir faire l'objet d'une vérification et d'une analyse. Dans le tableau 2, pour chaque indice, une première estimation du travail devant être accompli est précisée.

C'est ce travail de vérification, très lourd et fastidieux, qu'il nous faut entreprendre maintenant si l'on veut pouvoir obtenir une vision la plus juste et complète possible des ruptures en surface et des paléoséismes ayant affecté la métropole au cours de ces deux derniers millions d'années.

Au niveau du tableau 3, les indices de qualité très fiable, avec une origine tectonique sûre ou très probable, et d'emprise ponctuelle, sont sélectionnés. Hormis les quatre qui ont déjà fait l'objet d'une analyse paléosismique, il s'agit d'indices qui devront en priorité faire l'objet d'une analyse structurale détaillée, et si les ruptures en surface observées le permettent, d'une étude paléosismique.

• Jusqu'à présent les études d'évaluation de l'aléa sismique (tant en ce qui concerne les ouvrages à risque spécial, que les ouvrages à risque normal) étaient essentiellement fondées sur les données de la sismicité historique. Les résultats obtenus dans le cadre de cette fiche, menée en parallèle avec les travaux de recherche sur la paléosismicité entrepris dans le cadre du projet P50 du BRGM, ont fait progresser la réflexion entreprise sur la prise en compte des données néotectoniques, mais aussi, et surtout, sur la prise en compte des paléoséismes dans le cadre d'évaluation de l'aléa sismique.

Aujourd'hui, grâce aux récentes connaissances néotectoniques et de paléosismicité, l'évaluation de l'aléa pourrait être faite de façon plus complète et plus précise.

Mais, il faut souligner qu'actuellement, dans la législation française, il n'est pas prévu de prendre en compte le résultat des études de paléosismicité. De telles études doivent être avant tout affinées et contrôlées.

Or, de nombreuses études consacrées à la localisation de déformations récentes (avec pour objectif, en particulier, la localisation des failles actives et des sites d'études de paléosismicité) sont mises en oeuvre, tant au niveau international que sur le territoire français. Avec le développement de ce type d'étude, le risque augmente de voir apparaître des arguments plus ou moins valables sur l'interprétation de déformations récentes et, sur l'évaluation de la magnitude ou de l'intensité de séismes qui sont susceptibles d'être associés à ces déformations.

Il est donc nécessaire que les travaux sur l'interprétation des paléoséismes associés aux ruptures de surface puissent être faits de façon concertée ; le groupe de travail "rupture en surface et paléosismicité" doit pouvoir continuer à travailler dans ce sens.

| numéro | nom de la commune | lieu-dit ou appellation de l'indice | nature | priorités d'action | qualité | remarques |
|----------|-----------------------|---|----------------|--|---------|---|
| 4034001 | La Brillanne | | FIDs | verif. terrain par géom. et an. paléaos. | tf | |
| 4112001 | Manosque | ravin de Valvéranne | FI | an. paléosismicité | tf | |
| 6088002 | Nice | | FI - FDD | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | f | |
| 6088004 | Nice | salle omnisport Brancolar | FN | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | f | |
| 6147002 | Tourrette-Levens | | FN | verif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| 6149001 | La Trinité | Laghet | FI-Ds, FI, FDs | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | tf | |
| 13035001 | Eyguières | Grand - Vallon | FN, FD | an. contexte struct. local et an. paléos. | tf | |
| 13118001 | Coudoux | Coudoux - La Fare | T | an. contexte struct. local puis év. an. paléos. | f | |
| 26009001 | Andancette | Les Rostaings ou Beausemblant | FN | an. contexte struct. local | tf | |
| 30128002 | Génerac | Sainte-Vive - Captive | Br, Bas, Disc | verif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| 34233001 | Roqueredonde | l'Escandorgue | FI | verif. terrain, an. contexte struct. local, év. ét. de paléosismicité | tf | manque ref. Geo-Ter |
| 34311001 | Tourbes | Le Rièges | FI, mPli | verif. terrain, an. contexte struct. local | f | |
| 38337001 | Rives | | FN, Pli | an. contexte struct. local | f | déformations peu visibles à l'affleurement |
| 38359001 | Vertrieu | carrières de Sault Brenaz | FI, FN, mPli | an. par géom. et an. contexte struct. local | f | |
| 40121001 | Hauriet | | Fr, Pli | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | déformation peut être d'origine diapirique |
| 40180001 | Meilhan | | FIDs | datation, an. contexte struct. local, puis, an. de paléosismicité | tf | vérification effectuée, reste confirmations de l'âge de la terrasse |
| 60586001 | Saint-Martin-le-Noeud | carrières souterraines de Saint-Martin-le-Noeud | Fr | verif. terrain, an. contexte struct. local | f | argumentaire difficile à contrôler |
| 62128001 | Biache-Saint-Vaast | gisement paléolithique de Biaches-Saint-Vaast | FN, FD | an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | |
| 66039001 | Caramany | | FI, Br | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | tf | |
| 66121001 | Néfiach | | FDd | verif. terrain, an. contexte struct. local | tf | |
| 66130001 | Osséja | | FNDs | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | tf | |
| 66196001 | Sorède | | FN, mF | verif. terrain, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | tf | |
| 67001001 | Achenheim | carrière d'Achenheim | FN | verif. terrain, datation, an. contexte struct. local, puis, év., an. de paléosismicité | f | |
| 84039001 | Courthézon | Cellier des Princes | FI | datations absolues, poursuite de l'étude paléosismicité | tf | résultat de paléosismicité |
| 84039002 | Courthézon | Latour | FI | datations absolues, poursuite de l'étude paléosismicité | tf | résultat de paléosismicité |
| 84039003 | Courthézon | La Graviouse | r, Liquéfactio | datations absolues, poursuite de l'étude paléosismicité | tf | résultat de paléosismicité |

Tableau 3 - Extrait des indices ayant fait l'objet d'une analyse paléosismique, ou à analyser en priorité dans le futur

ANNEXE 1

COMPTES-RENDUS DE MISSION



BRGM

SGN/UPE

N. Réf. JLB/GR
CR 95.221

Marseille, le 28 novembre 1995

COMPTE RENDU DE MISSION

| | |
|--|--|
| Affaire : Base de données. Néotectonique et Paléosismicité. | N° 9300001863 - SP 95 H 002 |
| Dates : du 06/09 au 14/09/94 | Lieux : ISOLA 2000 (Alpes-Maritimes). |
| Objet : Etude d'une tranchée réalisée entre le 05/09 et le 14/09/94, pour analyse de l'activité quaternaire d'une des branches de la faille de l'Argentera-Bersezio. | |
| Participants BRGM : - J.L. BLES - P. CHARBONNEYRE - A. GHAFIRI | Personnes rencontrées : - J.L. PEREZ (CETE - Nice) et coll. - F. DAVID (Univ. Aix-Marseille) et coll. - M. JULIAN (Univ. de Nice). |
| Références antérieures : - SAURET B. et TERRIER M. (1987) - Compte-rendu de mission dans l'Argentera. <i>Note BRGM, BS/GR n° 87.175.</i> - GHAFIRI A. (1991) - Recherche des indices d'activité des failles en vue d'une étude de la paléosismicité dans le Sud-Est de la France. <i>Dipl. Et. Appr. Univ. Paris XI, 81 p.</i> - BLES J.L., GHAFIRI A. et SAURET B. (1993) - Compte-rendu de mission dans les Alpes (Néotectonique et Paléosismicité). <i>Note BRGM n° BS/GR 93.318.</i> - GHAFIRI A. (1995) - Paléosismicité de failles actives en contexte de sismicité modérée : application à l'évaluation de l'aléa sismique dans le Sud-Est de la France. <i>Thèse Univ. Paris XI, Orsay, 360 p. + Annexes.</i> | |
| Date émission : 28 novembre 1995 | |
| Destinataires : J. FOURNIGUET (SGN/UPE) P. GODEFROY (SGN/UPE/RNG/ARN) M. TERRIER (SGN/UPE/RNG/ARN) RNG/Marseille | Copies pour information : B. SAURET (DR/GIG) |
| Signataire : J.L. BLES | |



BRGM

SGN/UPE

N. Réf. JLB/GR

CR 95.221

Marseille, le 28 novembre 1995

1. SITUATION ET CADRE GEOLOGIQUE

Isola 2000 se situe à une cinquantaine de kilomètres au Nord de Nice, dans le massif cristallin externe de l'Argentera-Mercantour.

La faille de l'Argentera-Bersezio traverse ce massif de part en part, sur une longueur de plus de 40 kilomètres (figure 1) ; elle se continue vers le Nord-Est à travers les nappes de l'Embrunais sur une vingtaine de kilomètres jusqu'à proximité du cours de l'Ubaye.

C'est une faille tardi-hercynienne qui a rejoué pendant les phases alpines en développant une intense mylonitisation.

Sa direction générale est NW-SE et elle est réputée avoir un jeu plio-quadernaire dextre.

Cependant, au Sud du Col de la Lombarde, à proximité d'Isola 2000, elle prend une direction NNW-SSE et donne naissance à plusieurs rameaux dont l'orientation varie de E-W à NW-SE.

C'est à proximité de l'extrémité sud-est du plus méridional de ces rameaux, dans la région de Roquebillière, que sont situés les forts séismes des 20/07/1564, 15/02/1644 et 18/01/1618, tous d'intensité épicentrale VIII. Par ailleurs, l'épicentre du séisme du 5 avril 1959 d'intensité épicentrale VII-VIII est situé près de son extrémité nord-ouest.

2. DESCRIPTION ANTERIEURE

Les descriptions d'indices néotectoniques sur la faille de l'Argentera ont été faites par : SAURET et TERRIER (1989), BLES et al. (1993) et par GHAFIRI (1991 et 1995).

Pour BLES et al. (1993) "*si le rejeu quadernaire paraît réel, le rejeu holocène n'est pas prouvé*" et GHAFIRI (1995) conclut à un rejeu compris entre le dernier maximum glaciaire (18 000 ans B.P.) et le Dryas ancien (15 000 ans B.P.) ; ce rejeu serait dextre inverse d'après des arguments morphologiques.

L'indice, sur lequel ont été effectuées les tranchées, correspond à un escarpement de direction NW-SE à regard Nord-Est, c'est-à-dire à contre-pente.

L'escarpement est constitué aux dépens de migmatites biotitiques, mylonitisées le long d'une branche de la faille qui les sépare du granite de l'Argentera.



SGN/UPE

N. Réf. JLB/GR
CR 95.221

Marseille, le 28 novembre 1995

Entre l'escarpement et le granite de l'Argentera affleurant dans la pente amont, au-dessus de la zone de faille constituant une dépression, se sont déposés des sédiments lacustres qui ont été prélevés par carottage à la tarière et dont les pollens ont été étudiés en 1993 par F. DAVID de l'Université d'Aix-Marseille (Saint-Jérôme).

D'après l'étude palynologique de F. DAVID, il ressort que (figure 2) :

a) A la base du carottage, entre 3,5 et 4,5 m de profondeur, les argiles traversées correspondent au Dryas ancien, habituellement situé dans le temps, entre 15 000 et 13 000 ans B.P.

b) Au-dessus, entre - 1,55 m et - 3,5 m, une Gytija argileuse ou sableuse comprend :

- la période Bölling-Alleröd (13 000 à 11 000 ans B.P.) entre - 3,5 m et les environs de - 2,5 m ;
- le Dryas récent (11 000 à 10 000 ans B.P.), qui est situé dans la coupe aux environs de 2,5 m de profondeur ; il est marqué par des niveaux sableux à argilo-sableux ;
- à partir de - 2,25 m, vers le haut, se fait sentir le passage à l'Holocène, avec l'accroissement de la matière organique dans le sédiment.

c) Entre - 1,55 m et la surface du sol, une tourbe a été traversée ; à - 1,20 m, la sédimentation de tourbe pure marque le début de la période atlantique qui correspondrait à un âge proche de 8000 ans B.P.

3. OBSERVATIONS EFFECTUEES EN TRANCHEES

Deux tranchées, orientées NE-SW, ont été réalisées dans la partie la plus élevée de l'escarpement situé entre la station d'Isola 2000 et les lacs de Terre Rouge. Elles ont été creusées entre un glacier rocheux qui surmonte l'escarpement, au Nord-Ouest, et le paléolac du vallon de Terre Rouge, où a été effectué le forage-tarière pour étude stratigraphique et palynologique.

La tranchée la plus élevée (tranchée nord-ouest) est distante d'une vingtaine de mètres de la bordure du glacier rocheux ; la 2ème tranchée (tranchée sud-est) est située à 100 m de distance, au Sud-Est de la première. Elles ont une longueur de 25 m (tranchée nord-ouest) ou de 30 m (tranchée sud-est), pour une largeur et profondeur maxima de 3 m environ. Les conditions climatiques (pluie et neige) du début septembre 94 n'ont pas permis d'effectuer un relevé détaillé de cette tranchée sud-est.

A la base des tranchées, on observe le socle hercynien (figure 3) ; il est constitué de gneiss migmatiques injectés de filons de quartz et de filons de minéraux noirs (amphiboles ?) qui ont été laminés vraisemblablement au cours de la tectonique alpine.



SGN/UPE
N. Réf. JLB/GR
CR 95.221

Marseille, le 28 novembre 1995

Au-dessus, on trouve une argile grise à jaune clair, à la base, puis gris-bleue au sommet, contenant des éléments de socle (quartz, granite, gneiss, ...) de taille variant de 1 cm environ jusqu'à quelques décimètres ; les éléments ne sont pas arrondis mais plutôt anguleux ; leurs bords, tronqués par des faces planes, présentent parfois des "marches d'escalier", ou bien sont légèrement arrondis et polis. Cette formation est d'origine glaciaire et correspond à un till morainique. Son épaisseur maxima visible était de 0,8 à 0,9 m.

Au-dessus de cette formation glaciaire vient une tourbe brune à noire qui peut atteindre 0,7 à 0,8 m d'épaisseur.

Dans la tranchée sud-est, vers le creux de la dépression due à l'escarpement, il semble que la formation morainique gris jaune passe vers le haut et/ou latéralement (?) à des argiles gris-bleu à débris de végétaux. En s'éloignant de l'escarpement vers l'extrémité nord-est de cette tranchée, la tourbe repose directement sur le socle très altéré et de couleur bleu-vert.

Par rapport à la coupe du paléolac situé en contrebas (figure 2), il se pourrait que la formation morainique corresponde à l'argile rencontrée à la base de la coupe et attribuée au Dryas ancien.

Dans les 2 tranchées, aux environs de leur partie médiane, il a été possible d'observer une légère remontée du socle.

Dans la tranchée nord-ouest, cette remontée paraît due à une faille inverse utilisant un des filons noirs à pendage fort (60° environ) vers le sud-ouest. Mais, dans cette tranchée, le dépôt morainique est postérieur au relief de faille qui a été raboté par le glacier. Le rejet de cette faille, antérieure au dépôt morainique était d'au moins 0,2 m.

Dans la tranchée sud-est, il semble qu'une faille subverticale puis à pendage fort vers le Nord-Est ait surélevé, de quelques dizaines de centimètres, le socle de la dépression, par rapport au détritique glaciaire supérieur gris-bleu, la tourbe n'étant pas toutefois affectée.

4. INTERPRETATION - CONCLUSION

Il n'a pas été rencontré en tranchée de preuve indiscutable d'un rejeu quaternaire récent de la faille d'Isola 2000.

Cette faille est responsable de la constitution d'un escarpement, qui paraît avoir été façonné par la dynamique glaciaire, antérieurement à 15 000 ans ou entre 15 000 et 13 000 ans B.P.

Il est possible, mais non prouvé, qu'un rejeu d'un plan mineur de la zone de faille se soit produit après le dépôt de terrains morainiques, dont on ne sait s'il s'est fait avant ou pendant le Dryas ancien.

Les derniers jeux de la zone de faille sont donc antérieurs à 15 000 ou à 13 000 ans B.P.



BRGM

SGN/UPE

N. Réf. JLB/GR

CR 95.221

Marseille, le 28 novembre 1995

Si l'on se base sur l'attribution à la fin du Dryas ancien du glacier rocheux cachetant l'escarpement dû à la faille (note de M. EVIN, 1993), le dernier jeu significatif de cette faille doit être antérieur à 13 000 ans B.P.

Par ailleurs, selon GHAFIRI A. (1995), les moraines du versant nord du vallon de la Mercière, attribuées au dernier maximum glaciaire (20 000 ans B.P.), sont décalées par le prolongement sud-est de la faille d'Isola 2000.

Ainsi, le dernier jeu de cette branche de la faille de l'Argentera-Bersezio serait situé entre 20 000 et 15 000 ou 13 000 ans.

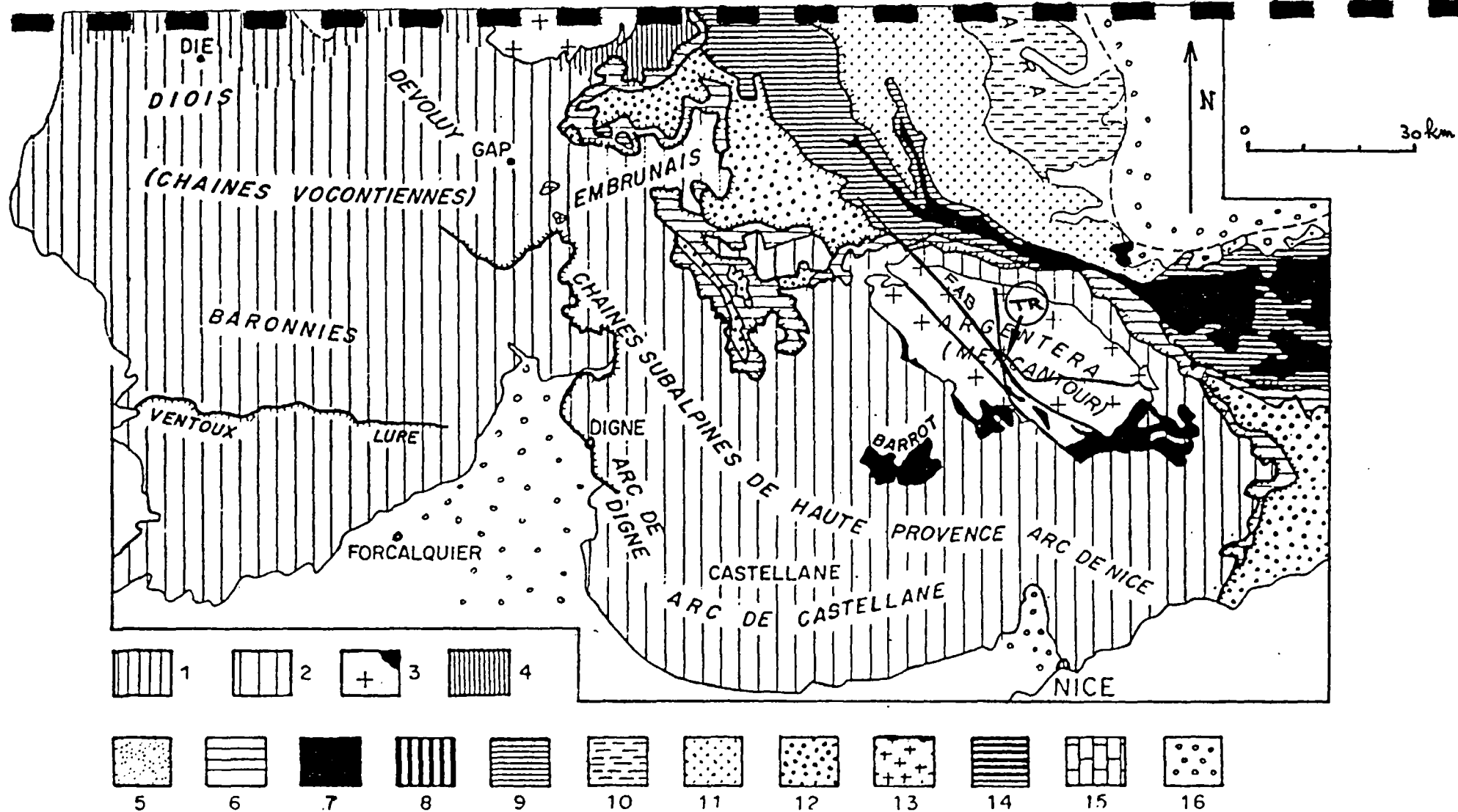


Fig. 1 Schéma structural simplifié des Alpes franco-italiennes (d'après DEBELMAS, 1974)

1. Chaînes subalpines septentrionales. - 2. Chaînes subalpines méridionales. - 3. Massifs cristallins externes et bassins permo-houillers. - 4. Zone ultradauphinoise. - 5. Zone valaisane. - 6. Zone subbriançonnaise. - 7. Zone houillère briançonnaise. - 8. Zone Vanoise-Mt Pourri (Permo-Houiller briançonnais métamorphique). - 9. Mésozoïque briançonnais. - 10. Massifs cristallins internes piémontais. - 11. Zone des schistes ustrés piémontais. - 12. Nappes de Flyschs néocrétacés (Flysch à Helminthoïdes, Flysch de la Simme s.l.). - 13. Zone Sesia-Dent Blanche. - 14. Zones du Canavèse et d'Ivrée. - 15. Jura. - 16. Bassins molassiques péri-alpins. LA FLÈCHE INDIQUE LA LOCALISATION DES TRANCHÉES D'ISOLA 2000 (TR).
 FAB: faille de l'ARGENTERA-BERSEZIO.

AGE DE NIVEAUX
COMPARABLES
DATÉS DU SECTEUR
DE TENDE (06);
BEAULIEU (1974)

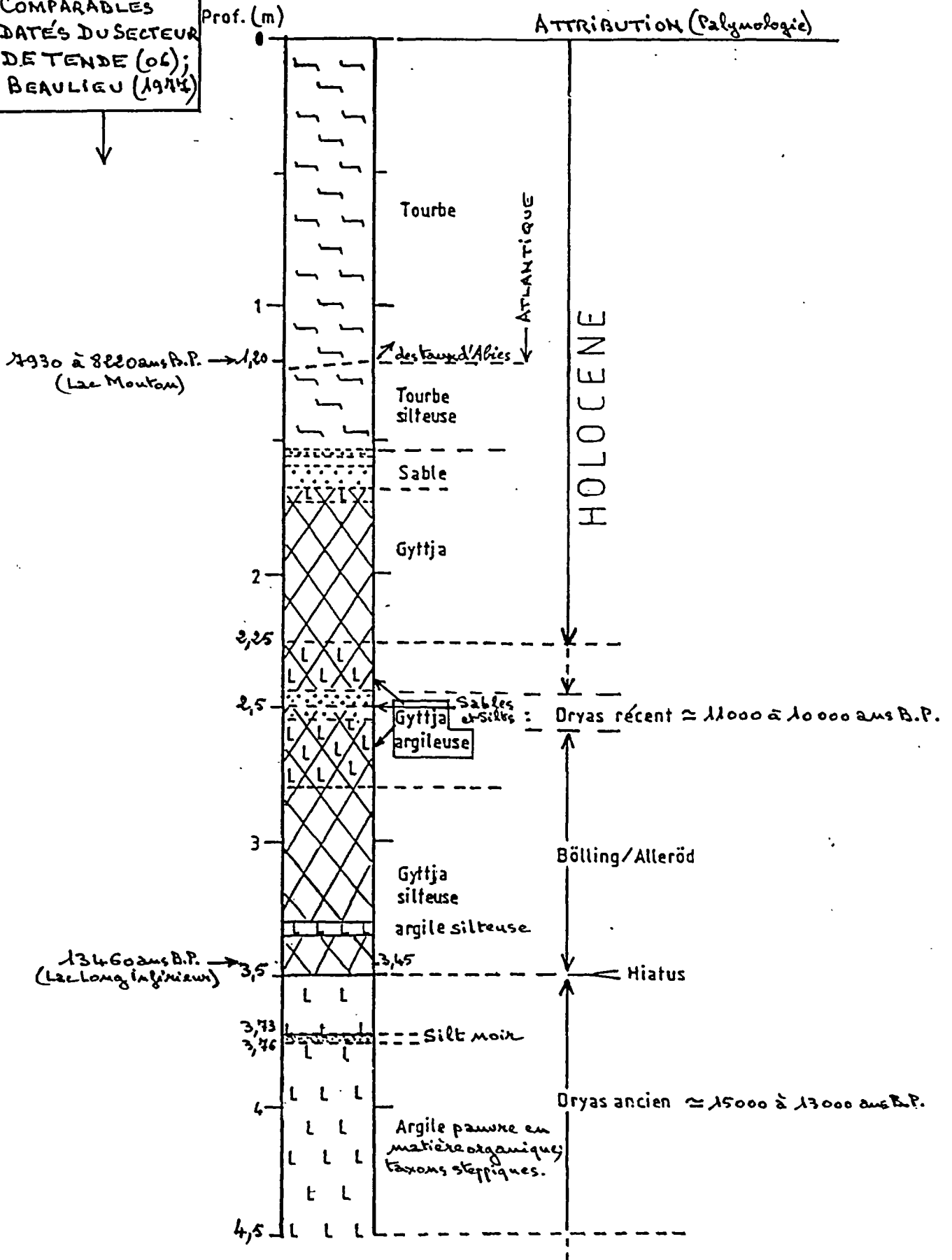


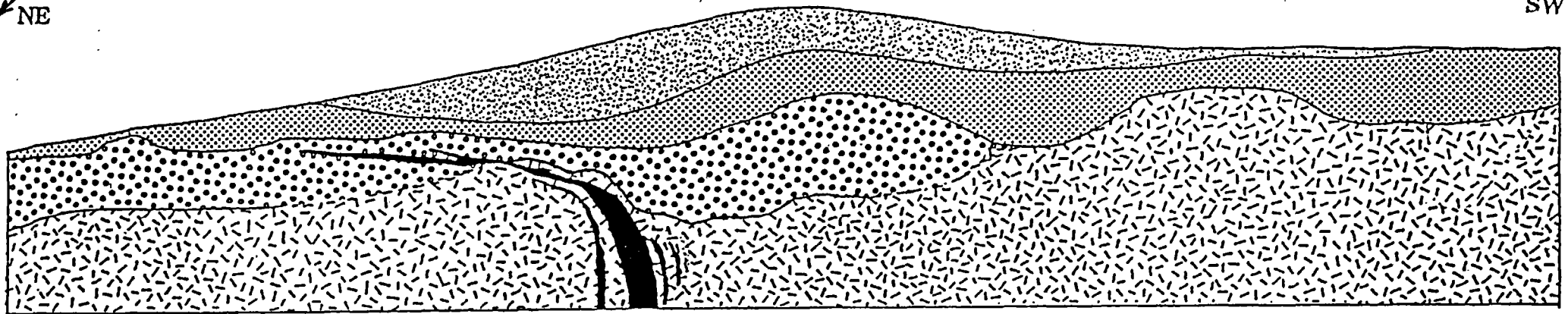
Figure 2 - COUPE DU PALÉOLAC DE TERRE ROUGE (DAVID, 1993)
(Echantillonnage tarière)

Paléolac de Terre Rouge

Escarpement de la faille d'ISOLA 2000

NE

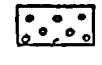
SW



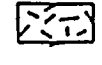
Remblai artificiel



Sol tourbeux maxxon, holocène



Dépot morainique (till), jaune et gris-bleu au sommet



Socle : gneiss migmatitique, mylonitisé



Filons de minéraux noirs, laminés et mylonitisés
(la présence de ce faciès dans les dépôts glaciaires est dû à un effet de fauchage et d'entraînement par le glacier)

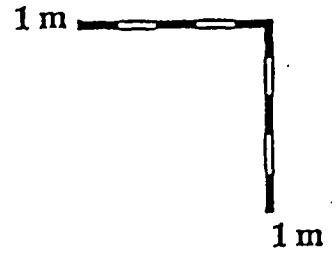


Figure 3 - PARTIE SUD-OUEST DE LA TRANCHÉE NORD-OUEST D'ISOLA 2000 (GHAFIRI, 1995, modifié)



BRGM

LE SERVICE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SGN/UPE

JLB/GR 95.35

Marseille, le 13 février 1995

COMPTE RENDU DE MISSION

| | |
|---|---|
| Affaire : Séminaire ARCHÉOLOGIE et SISMICITÉ - Objectifs et Méthodes | N° |
| Dates : 10 février 1995 | Lieux : Nîmes..... |
| Objet : Réunion d'Archéologues, d'ingénieurs de structures, d'architectes, de sismologues et de sismotectoniciens pour tenter d'utiliser certaines observations archéologiques comme indicateur de séismes. Séminaire organisé par l'IPSN, le CNRS et le Centre universitaire européen pour les biens culturels de Ravello. | |
| Participants BRGM : <ul style="list-style-type: none">• J.L. BLES• J. LAMBERT | Personnes rencontrées : <ul style="list-style-type: none">• P. COMBES et B. GRELLET (GEOTER)• J.Y. DUBIE (EDF) |
| Références antérieures : | |
| Date émission : 13/02/95 | |
| Destinataires : <ul style="list-style-type: none">• P. GODEFROY• M. TERRIER | Copies pour information : <ul style="list-style-type: none">• P. MOUROUX• C. MARTIN• P. DOMINIQUE• M. BOUR |
| Signataire : J.L. BLES | |



BRGM

SGN/UPE

JLB/GR 95.35

Marseille, le 13 février 1995

| Déroulement de la mission : | |
|--|--|
| Calendrier : Exposés de 9h 30 à 17 h, le 10/02/95 à Nîmes. | Points importants : Une réinterprétation des observations faites par le Groupe d'études de l'Aqueduc de Nîmes (CNRS) suggère qu'un séisme a endommagé l'aqueduc, au Nord-Ouest de Remoulin, au 4ème siècle de notre ère. |
| Suites à donner : A suivre par J. LAMBERT, J.L. BLES et M. TERRIER, en relation avec les études menées en Provence et Basse vallée du Rhône. | |
| Annexes : Copies de quelques documents du séminaire et circulation en RNG Marseille. | |

PROGRAMME

9 h 30

Présentation
A. LEVRET (IPSN) et B. HELLY (CUEBC)

10 h - 12 h 30

Les tremblements de terre actuels et leurs effets
Ph. COMBES (GEO-TER) et R. SOULOUMIAC (Bureau Véritas)

Les manifestations dans le bâti ancien encore existant
A. RIDEAUD (CUEBC)

Discussions

12 h 30 - 14 h 30 : Repas

14 h 30 - 17 h

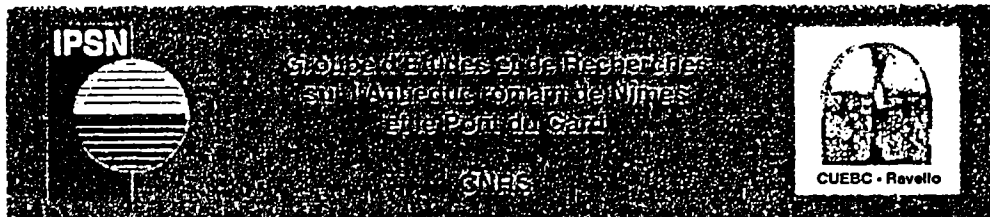
Méthodologies de travail et amorce d'un catalogue
Ph. COMBES (GEO-TER) avec la contribution de R. MARICHAL (Ruscino)
et d'archéologues des sites de Lattes et de l'Aqueduc d'Arles

Aqueduc de Nîmes : programme d'études pluridisciplinaires
J.L. FICHES et G. FABRE (Groupe d'Etudes de l'Aqueduc de Nîmes)

Bilan et objectifs

Organisateurs :
A. LEVRET et Th. GRANIER (IPSN)
B. HELLY (CUEBC)

G. FABRE et J.L. FICHES (Groupe d'Etudes de l'Aqueduc de Nîmes)



avec la participation de la Société GEO-TER,
l'aide de la Ville de Nîmes et du Conseil Général du Gard

Séminaire ARCHEOLOGIE ET SISMICITE Objectifs et méthodes

Vendredi 10 février 1995

Carré d'Art - Médiathèque
Place de la Maison Carrée à Nîmes (Gard)



Dégradation ou séisme ?

(photo : aqueduc de Nîmes - J.L. Paillet)



ARCHEOLOGIE ET SEISMES

Dans le souci d'améliorer les connaissances utiles à la prise en compte de l'aléa sismique dans un pays à sismicité modérée comme la France, l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire en collaboration avec GEO-TER développent des investigations pour rechercher des tremblements de terre antiques, inconnus par les sources écrites.

NOTRE PREMIER OBJECTIF

- ➡ Sensibiliser les archéologues et leurs proches collaborateurs sur l'intérêt de rechercher dans les vestiges archéologiques et les bâtis anciens la trace d'événements sismiques qui ont pu être enregistrés par de très anciennes constructions.
- ➡ Informer de manière schématique sur les effets géologiques et architecturaux qui se produisent lors d'un séisme catastrophique et qui sont bien connus grâce aux interventions "post-sismiques" d'équipe pluridisciplinaires.
- ➡ Présenter un catalogue de conséquences types "d'archéo-séismes" mises à jour sur des sites archéologiques lors de fouilles récentes. Des observations similaires à celles présentées ici peuvent ne pas être d'origine sismique, d'autres événements naturels ou d'origine anthropique pouvant produire les mêmes effets. Mais de tels désordres sont observés lors de tremblements de terre actuels et méritent donc notre attention

NOTRE DEUXIEME OBJECTIF

Susciter l'impulsion nécessaire pour provoquer une collaboration multi-disciplinaire, entre archéologues, sismologues, géologues, géographes, architectes, ingénieurs des structures, sur des sites où des anomalies ont été détectées dans le but d'en comprendre l'origine.

1. LES EFFETS GEOLOGIQUES D'UN SEISME MAJEUR

Lors de missions post sismiques, l'intervention sur le terrain de géologues, sismologues, ingénieurs des structures... permet d'observer, quelques jours après le séisme, les effets du mouvement de la faille et les phénomènes induits tels que les glissements de terrain et la liquéfaction des sols, ainsi que les destructions occasionnées par le passage des ondes sismiques.

Ces effets, provoqués par un seul et unique événement, sont multiples et variés. Certains sont typiques des séismes, d'autres le sont moins, comme par exemple les glissements de terrain dont le déclenchement peut être aussi le fait de pluies abondantes. Ces manifestations géologiques et sismiques ont toutes un caractère catastrophique, brutal et instantané. Elles peuvent survenir ensemble ou séparément.

Ces effets, qui intéressent généralement de vastes secteurs, peuvent aussi être amplifiés localement.

On observe classiquement :

- Un décalage de plusieurs centimètres à plusieurs mètres, par la faille, de marqueurs tels que la surface topographique, les couches géologiques ou les lits de rivière.
- La création de fractures et de fissures, souvent d'une orientation privilégiée, de différentes échelles et d'inégales ouvertures.
- Des exhaussements ou affaissements de terrains, entraînant des perturbations dans les cours d'eau, les nappes phréatiques et les sources.
- Des mises en mouvement brutal de terrain par gravité prenant des formes variées : chute isolée ou de semis de blocs rocheux, éboulement localisé ou écroulement en masse généralisé de falaise ou de pans de montagne, arrachement, décollement et glissement de matériel plus meuble.
- Dans certains terrains, comme les sables saturés en eau, l'action sismique peut conduire au phénomène de liquéfaction. Des affaissements, des échappements d'eau, des volcans de boue ou de sables et des glissements peuvent en résulter.

■ Enfin, les raz de marée d'origine sismique (tsunamis) sont caractérisés par des vagues très importantes qui, lorsqu'elles déferlent sur les littoraux, provoquent de nombreux ravages.

Toutes ces manifestations géologiques, associées à l'ébranlement du sol, vont avoir des conséquences importantes sur les constructions existantes.

2. EFFETS SUR LES CONSTRUCTIONS ET LES VESTIGES ARCHEOLOGIQUES

La répétition des séismes à travers le temps a pour principale conséquence d'accumuler dans les terrains géologiques superficiels et le paysage des structures caractéristiques, véritables marqueurs de séismes passés ou paléoséismes. L'étude sismotectonique, paléosismique et géomorphologique permet de reconnaître les conséquences types de séismes majeurs ante-historiques (par opposition à ceux connus par les archives historiques).

Mais, il est aussi possible de faire appel à d'autres témoignages, à travers les vestiges de l'occupation humaine, en complément ou en l'absence de supports écrits. Ainsi, lors de fouilles archéologiques, l'étude de traces de destructions ou de réparations sur les constructions peut apporter des preuves de séismes catastrophiques.

C'est en quelque sorte un problème inverse que l'on cherche à résoudre : connaissant les effets géologiques caractéristiques de séismes actuels et leurs traces dans les constructions, on recherche le même type de manifestations sur des vestiges archéologiques et sur l'environnement géologique, de manière à en comprendre l'origine.

Certaines déformations sont liées au passage de la faille, et concernent un volume limité. D'autres, conséquences du passage de trains d'ondes sismiques, peuvent affecter une grande étendue.

Les quelques exemples présentés ici caractérisent les différents types d'anomalies recherchés sur des sites archéologiques pour une étude approfondie. Chaque observation à elle seule est généralement insuffisante pour affirmer l'origine sismique. Ce n'est que la convergence des observations et l'unicité de la solution qui permettent de conclure.

Ainsi, sur les vestiges archéologiques, différents effets peuvent être observés :

a - La rupture de surface se manifeste par un décalage de plusieurs cm à dm dans un même sens, verticalement ou horizontalement, sur de longues distances, des aménagements humains (constructions enterrées, voies de communication...) qu'elle recoupe.

b - Quelquefois les fractures décalent des vestiges ancrés au sol tels que des canalisations, des fondations, ou des murs par exemple, parfois avec des sens de mouvement à première vue incohérents. Ces fractures sont différentes de la faille.

La fissuration du sol et des édifices disparaît souvent, soit à la suite d'un "colmatage" par un matériel disparate, soit à cause de "réparations" parfois bien visibles (par exemple mosaïques présentant localement un agencement différent). Lorsque le site est abandonné après le séisme, la trace des fissures peut être toujours visibles par des ouvertures restées béantes.

c - On retrouve parfois de nombreux blocs rocheux éboulés, recouvrant des vestiges de construction.

d - Dans le cas de glissement de terrain ayant affecté un site antique, des mosaïques, des bains ou toute construction horizontale à la conception se retrouve bombée ou présentant des inclinaisons anormales. Des fractures et fissures sont généralement associées.

e - Des manifestations similaires au glissement peuvent être obtenues en cas de liquéfaction du sol. En effet, le sol meuble se dérobe sous les constructions entraînant des inclinaisons brutales de fondations, des ondulations, des "entonnoirs" et des tassements des structures posées à même le sol. Des fractures et des fissures sont injectées de matériel sablo-limoneux.

f - Sous l'action des ondes sismiques, une structure massive reposant sur une base ancrée dans le sol (colonnes sur son socle par exemple) va, dans certaines conditions, avoir tendance à tourner sur elle-même autour d'un axe vertical. De telles rotations peuvent permettre d'estimer un ordre de grandeur de l'accélération du mouvement sismique.

g - Le renversement de colonnes ou de pans entiers de murs est aussi un marqueur qui peut être utilisé pour rechercher la localisation de la source sismique (en donnant des indications sur le sens du mouvement) ou évaluer l'accélération.

h - La rupture de concrétions dans des grottes ou ailleurs (par exemple sous des arches d'aqueduc) peut être le résultat du passage d'ondes sismiques.

Toutes observations de ce style peut faciliter la mise en évidence et l'étude d'un séisme ayant affecté le site concerné.

PERSONNES À CONTACTER

GEO-TER

Ph. COMBES,

B. GRELLET

Pôle Geo-Environnement,

3 rue Jean Monnet,

34830 Clapiers (France)

IPSN/BERSSIN

A. LEVRET,

Th. GRANIER

Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire,

B. P. 6,

92265 Fontenay-aux-Roses

(France)

Janvier 1995



IPSN/DPEI/BERSSIN

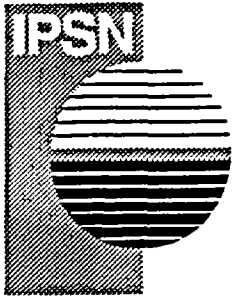
Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire
Bureau d'Évaluation du Risque Sismique
pour la Sécurité des Installations Nucléaires

60-68 avenue du Général Leclerc
B.P. 6 92265 Fontenay-aux-Roses Cedex FRANCE
tel.: (1) 46 54 74 11 fax : (1) 46 54 81 30

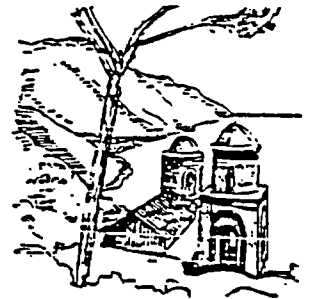


GEO - TER

3, rue Jean Monnet
34830 CLAPIERS - FRANCE
Tél. : 67 59 18 11
Fax : 67 59 18 24



Groupe d'études et de recherches
sur l'aqueduc romain de Nîmes
et le Pont du Gard



CUEBC - Ravello

| |
|-----------------------|
| SGN/UPE/RNG-M |
| Arrivée le : 17.01.95 |
| A suivre par CMA, PM |
| Copies à : MT, JLB |
| Clas. : |

Cher Collègue,

le 3 janvier 1995

L'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN), le Centre Universitaire Européen pour les Biens Culturels de Ravello (programme européen sur les bâtis anciens en zones sismiques) et le Groupe d'études et de recherches sur l'aqueduc romain de Nîmes et le Pont du Gard organisent à Nîmes, le 10 février 1995, un séminaire visant à mieux définir, sur un exemple concret, les conditions dans lesquelles les archéologues peuvent contribuer à améliorer la connaissance des événements ou des périodes d'activité sismique dans le Sud-Est de la France.

Le groupe de travail constitué pour organiser ce séminaire part des constats suivants:

a) tout en étant assuré du fait que de nombreux archéologues peuvent avoir fait des observations précises en ce domaine, il lui semble que la systématisation de ces observations reste encore souvent insuffisante. Il estime possible cependant d'apporter des références intéressantes aux archéologues en ce domaine, en partant des méthodes d'analyse des traces de dommages, de réparations ou de techniques de renforcement ou de confortement des constructions anciennes ou traditionnelles actuelles en zones sismiques;

b) il est conscient que de nombreuses situations restent ambiguës ou mal définies et posent de redoutables problèmes d'interprétation, qui justifient une véritable recherche pluridisciplinaire sur tous ces points, afin d'éviter la formulation d'hypothèses en totale contradiction avec les réalités de la géophysique, de la tectonique et des sciences de l'ingénieur sur les comportements des structures bâties;

c) inversement, il lui semble indispensable que ces spécialistes puissent reformuler leur questions en matière d'archéosismicité ou de sismicité historique en fonction des capacités des archéologues à fournir des informations relatives aux lieux ou aux événements (problème du "pouvoir de

résolution" en matière de datation, de la mise en évidence de périodes d'activité sismique plus ou moins prononcée, etc.), à partir des observations matérielles qu'ils sont en mesure de faire.

Ces éléments de réflexion ont conduit le groupe de travail à construire le programme de la journée du 10 février prochain, que vous trouverez joint à ce courrier et qui devrait intéresser, nous l'espérons, un grand nombre de collègues archéologues, spécialistes de toutes les périodes et de tous les types de constructions ou d'installations humaines: aussi bien les préhistoriens (cas d'effondrements de plafonds de grottes) que les les médiévistes, les archéologues classiques qui s'occupent des constructions en grand appareil, mais aussi ceux qui traitent des habitats les plus répandus, en petite maçonnerie, en terre, en briques ou en pans de bois. Cette journée aura lieu avec le soutien de la Ville de Nîmes et du Conseil Général du Gard.

Nous vous serions donc reconnaissants si vous vouliez bien accepter de participer personnellement à ce séminaire et de diffuser de la meilleure façon auprès de vos collaborateurs la présente lettre avec la feuille d'annonce ci-jointe. Nous souhaitons que tous les collègues intéressés veuillent bien s'inscrire auprès de l'un des signataires représentant les institutions organisatrices avant le 23 janvier 1995, afin de nous faciliter l'organisation matérielle de la rencontre. Une lettre de confirmation avec les informations nécessaires (lieu, plan d'accès, repas) sera adressée à tous ceux qui voudront y participer.

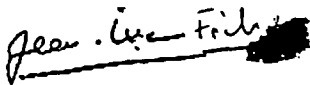
En vous remerciant de l'attention que vous voudrez bien apporter à nos demandes, nous vous prions de croire, cher Collègue, à l'assurance de nos sentiments les meilleurs.

Pour l'IPSN



Agnès Levret
Ingénieur au Bureau
d'évaluation du risque
sismique pour la sûreté
des installations nucléaires

pour le Groupe
"aqueduc de Nîmes"



Jean-Luc Fiches
Directeur de recherche
au CNRS-Centre de
Recherches Archéologiques

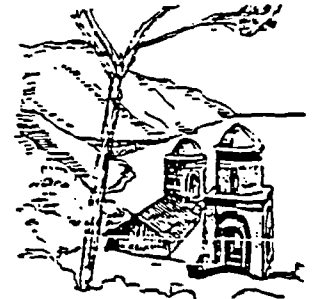
pour le CUEBC
"Bâtis anciens
dans les zones sismiques"



Bruno Helly
Coordonnateur du
programme
européen



Groupe d'études et de recherches
sur l'aqueduc romain de Nîmes
et le Pont du Gard



CUEBC - Ravello

Séminaire

ARCHÉOLOGIE ET SISMICITÉ

vendredi 10 février 1995

Le Carré d'Art, Nîmes

(avec l'aide de la Ville de Nîmes et du Conseil Général du Gard)

L'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, le Centre Universitaire Européen pour les Biens Culturels de Ravello (programme européen sur les bâtis anciens en zones sismiques) et le Groupe d'études et de recherches sur l'aqueduc romain de Nîmes et le Pont du Gard organisent à Nîmes, le 10 février 1995, un séminaire visant à mieux définir, sur un exemple concret, les conditions dans lesquelles les archéologues peuvent contribuer à améliorer la connaissance des événements ou des périodes d'activité sismique dans le Sud-Est de la France.

Programme:

9 h 30. Présentation (Agnès Levret, IPSN, Bruno Helly, CUEBC)

10 h-12 h 30

- a) Les tremblements de terre actuels et leurs effets (Ph. Combes, géologue, Géo-ter, R. Souloumiac, conseiller en génie parasismique, Bureau Veritas)
- b) Les manifestations dans le bâti ancien encore existant (A. Rideaud, architecte, CUEBC)

14h30-17h00

- a) Méthodologies de travail et amorce d'un catalogue (Ph. Combes, avec la contribution de Ph. Leveau, A. Marichal, M. Garcia, archéologues)
- b) Observations sur le Pont du Gard (J. -L. Fiches et al. Groupe Aqueduc de Nîmes)
- c) Bilan

N. Réf. JLB/gr
CR95.212

COMPTE RENDU DE MISSION

| | |
|--|--|
| Affaire : Compte rendu de visite de tranchées réalisées par l'IPSN et GEO-TER pour paléosismicité à Saint-Maurice-de-Ventalon (Lozère). | N° 9300001863 - 95 H 002 |
| Dates : le 18 octobre 1995. | Lieux : Saint-Maurice-de-Ventalon (Lozère). |
| Objet : | |
| Le but de cette visite était d'observer les tranchées effectuées pour étude de paléosismicité par GEO-TER pour le compte de l'IPSN, sur l'indice néotectonique découvert et décrit par BOUSQUET J.C. (1980) entre Saint-Maurice-de-Ventalon et La Croix-de-Berthel, en Lozère. | |
| Participants BRGM : J.L. BLÈS accompagné de : - P.L. NARULA et P. PANDÉ (Geological Survey of India ; Lucknow) en visite en France dans le cadre du projet pilote d'évaluation de l'aléa sismique en Inde région de Kangra-Dharmasala). | Personnes rencontrées : - B. GRELLET et C. CARBON (GEO-TER) - H. PHILIP et M. BOUDIAF (USTL, Montpellier II) - P. VASKOU (EDF-TEGG) - M. KUNTZ (Géologue) |
| Références antérieures : | |
| - BOUSQUET J.C. (1980) - Une faille active sur le versant sud du Mont-Lozère ? 8e Réunion annuelle des Sciences de la Terre, Marseille 1980, <i>Publ. Soc. Géol. France, Paris</i> . | |
| Date émission : 13 novembre 1995. | |
| Destinataires : J. FOURNIGUET (SGN/UPE) P. GODEFROY (SGN/UPE/RNG/ARN) M. TERRIER (SGN/UPE/RNG/ARN) RNG/Marseille | Copies pour information : B. SAURET (DR/GIG) |
| Signataire : | J.L. BLÈS |

1. SITUATION ET CADRE GÉOLOGIQUE SUCCINCT

Saint-Maurice-de-Ventalon se situe sur le versant sud du Massif granitique tardi-hercynien du Mont-Lozère, à 20 km à l'est de Florac (48) et à 25-30 km au nord-ouest d'Alès (30).

L'indice signalé par Bousquet se trouve à l'ouest du grand décrochement sub-méridien de Villefort-Génolhac, en bordure d'une faille plurikilométrique, subverticale et de direction générale proche d'E-W ; d'après la carte géologique à 1/50 000, Génolhac, elle serait orientée N 110° E, dans le secteur même de Saint-Maurice-de-Ventalon. Elle affecte les schistes paléozoïques des Cévennes, aux dépens desquels elle a développé un début de mylonitisation, à la fin de l'Hercynien (aux environs de 300 Ma).

Aucun épicerne de séisme n'est connu dans un rayon de 30 km autour de l'indice, ce qui correspond bien à la très faible sismicité de cette bordure sud-est du Massif central.

2. DESCRIPTION ANTÉRIEURE DE L'INDICE

Entre Saint-Maurice-de-Ventalon et la Croix-de-Berthel, le long du tracé supposé de la faille hercynienne, Bousquet (1980) a décrit trois escarpements morphologiques d'une hauteur d'environ 1 m et s'étendant sur une longueur totale de 200 m environ. Ces trois escarpements constituent des ressauts à contre-pente et leur disposition en échelon résulterait d'un jeu dextre de la faille.

Ce jeu serait très récent, postérieur à l'érosion würmienne, soit un âge $\leq 10\ 000$ ans.

3. OBSERVATIONS EFFECTUÉES EN TRANCHÉE

Deux tranchées ont été réalisées par IPSN et GEO-TER à environ 300 m à l'ouest de Saint-Maurice-de-Ventalon ; les deux tranchées recoupent les petits escarpements les plus occidentaux et elles sont distantes l'une de l'autre de moins de 50 m. Leurs dimensions sont les suivantes : 2 à 3 m de largeur, 8 à 10 m de longueur et 1 à 4 m de profondeur, du nord au sud, leur plancher étant subhorizontal, au nord, et fortement incliné, au sud.

Le fond des tranchées est occupé par les schistes des Cévennes dont le pendage est de 50° à 60° vers le sud.

Dans la tranchée occidentale (figure 1), le sommet de ces schistes est affecté par un plan de glissement orienté N 70° à 75° E, incliné de 35° à 15° vers le sud et portant des stries de faille normale.

Au-dessus de ce plan, sur une épaisseur de 0,5 à 1 m, les schistes des Cévennes se débitent en écailles et ils sont affectés de plis "écailleux" qui confirment un glissement vers le sud de type normal (2, figure 1).

Au-dessus de ces schistes plissotés, viennent 1 à 2 m d'épaisseur de dépôts de pente à petits éléments anguleux et à rares blocs (3, figure 1), qui correspondent à un climat péri-glaciaire. Une trace de stratification visible dans cette formation est à peu près parallèle à la pente de la surface actuelle (15° à 20°).

Au-dessus, constituant le bord de l'escarpement, on observe une poche (ou gouttière ?) contenant des éléments détritiques détaillés centimétrique à décimétrique (4, figure 1) ; elle est interprétée par GEO-TER comme les restes d'une coulée de solifluxion.

Par-dessus, dans le creux constitué par l'escarpement, se sont déposées des colluvions récentes, finement détritiques et à stratification subhorizontale (5, figure 1).

Un sol récent à actuel s'est développé sur les terrains de l'escarpement et dans la partie de la pente, située en contre-bas de celui-ci. Au-dessus de la gouttière due à l'escarpement, les schistes des Cévennes affleurent ou sub-affleurent, et la pente topographique est ici proche de 25°, en moyenne.

La tranchée orientale, montre sensiblement les mêmes formations ; le plan de glissement s'observe également, mais son pendage semble varier de 15° à 25° seulement.

4. INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

Les tranchées de Saint-Maurice-de-Ventalon révèlent l'existence d'un plan de faille normale à pendage faible et de direction pratiquement parallèle à la vallée ; l'effondrement s'étant produit en direction du thalweg.

La direction de la vallée est approximativement la même que celle de la faille hercynienne et l'influence de la faille sur le tracé moyen de la vallée est manifeste.

L'inclinaison du plan de faille observé en tranchée étant proche de celle de la pente topographique et de celle de la stratification des dépôts périglaciaires postérieurs à la déformation, il semble que l'on soit en présence, non d'une faille normale d'origine tectonique sensu stricto, mais, au contraire, d'un plan de glissement témoin d'un mouvement de terrain superficiel des schistes des Cévennes. Ce glissement aurait été facilité, par l'état de déformation des schistes mylonitisés à l'Hercynien et altérés superficiellement par la suite, d'une part, et par le creusement de la vallée, lors de la dernière grande période glaciaire (Würm ; 80 000 à 15 000 ans), d'autre part.

Les dépôts de pente périglaciaires, postérieurs à la déformation, pourraient s'être constitués pendant le tardi-glaciaire (15 000 à 10 000 B.P.).

Un rejeu de faille normale, lié à un hypothétique soulèvement quaternaire du massif du Mont-Lozère, aurait dû se faire le long de la faille sub-verticale hercynienne et non suivant un plan peu incliné, comme celui observé dans les tranchées. Ainsi la déformation semble bien due à un glissement de terrain superficiel.

Ce glissement s'est vraisemblablement fait au détriment des schistes déformés et altérés, de préférence aux schistes sains. Il paraît avoir repoussé le cours d'eau vers le sud, par rapport au tracé moyen de la faille hercynienne.

5. CONCLUSION

Grâce aux tranchées effectuées et étudiées par l'I.P.S.N. et GEO-TER, il est possible de dire que les escarpements signalés par Bousquet, près de Saint-Maurice-de-Ventalon, ne sont pas dus à une réactivation en décrochement dextre de la faille tardi-hercynienne de la Croix-de-Berthel, mais à une rupture normale inclinée vers le sud à moins de 35° et correspondant très vraisemblablement à un glissement de terrain superficiel des schistes des Cévennes, sur le flanc d'une vallée creusée au cours de la dernière période glaciaire.

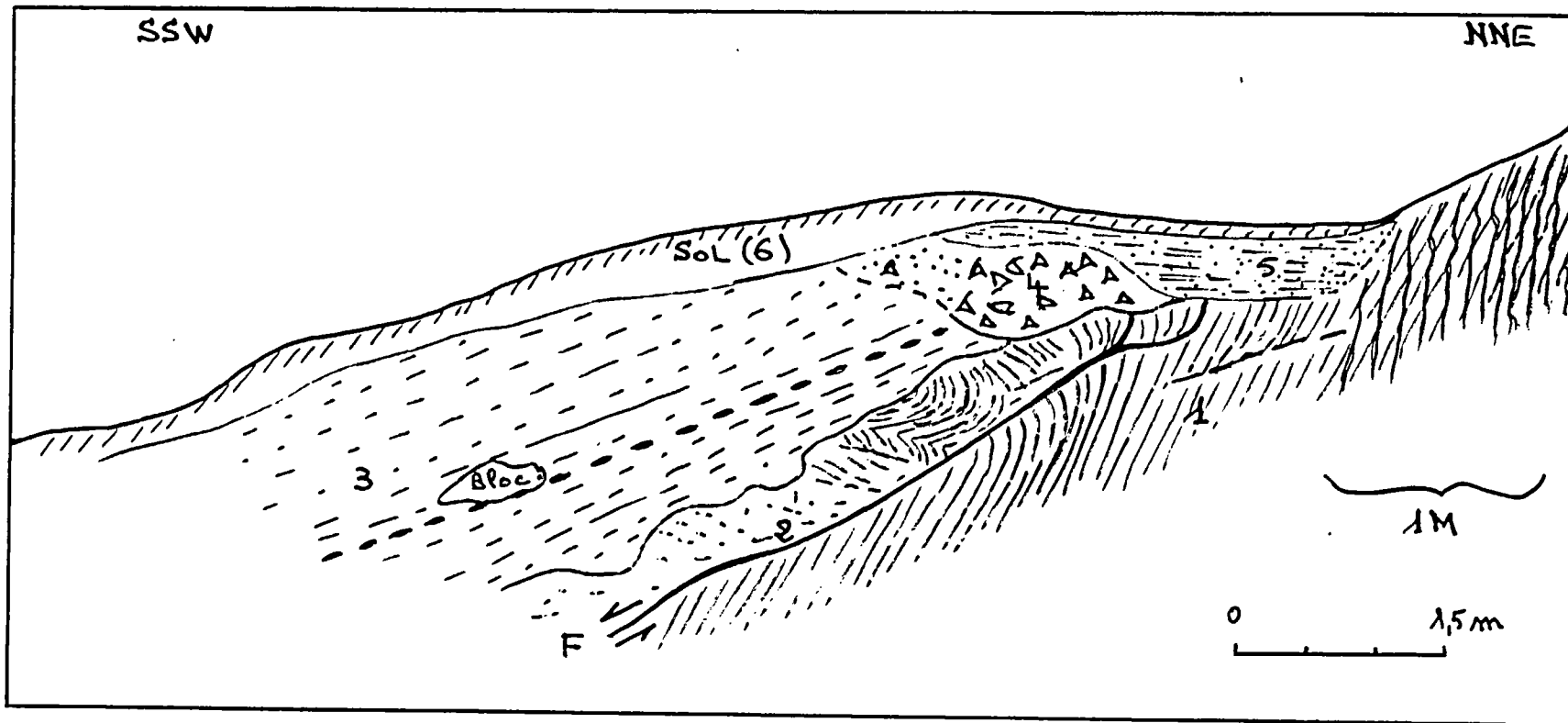


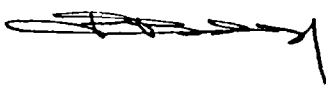
Figure 1: TRANCHÉE OCCIDENTALE DE ST MAURICE-DE-VENTALON.

- 1: schistes métamorphiques des Cavernes (pendage: 50° - 60° Sud); 1M = zone mylonitique.
- 2: schistes glissés et plissés (F = plan de glissement; $N 75^{\circ} E$ - 15° à 35° Sud)
- 3: dépôt de pente périglaciaire, à petits éléments anguleux.
- 4: poche de talus à éléments anguleux (couleée de solifluxion?)
- 5: colluvions finement talusiques, subhorizontales
- 6: sol très récent à actuel.

Marseille, le 23 novembre 1995

N. Réf. JLB/gr
CR 95.112

COMPTE RENDU DE MISSION

| | |
|---|---|
| Affaire : Base néotectonique et paléosismicité - Fiche SP 95 H 002. | N° 9300001863 - 95 H 002 |
| Dates : 12/11/95 | Lieux : Vinon-sur-Verdon (sud) (carte à 1/50 000 TAVERNES) |
| Objet : | |
| C.R. de visite de tranchées effectuées par GEO-TER S.A., pour étude de paléosismicité à 500 m au sud du village de Vinon. | |
| Participants BRGM : J.L. BLES | Personnes rencontrées : Néant Visite sur invitation de B. GRELLET (GEO-TER) |
| Références antérieures : | |
| Néant | |
| Date émission : 23 novembre 1995 | |
| Destinataires : J. FOURNIGUET (SGN/UPE) P. GODEFROY (SGN/UPE/RNG/ARN) M. TERRIER (SGN/UPE/RNG/ARN) RNG Marseille | Copies pour information : |
| Signataire : J.L. BLES |  |

**NEOTECTONIQUE ET
PALEOSISMICITE**

1. SITUATION ET CADRE GEOLOGIQUE

Vinon-sur-Verdon est situé à 5 km environ à l'Est du cours moyen de la Durance. Ce secteur est marqué par la présence d'un chevauchement WNW-ESE à vergence nord-est connu sous le nom de chevauchement de Vinon ou de Saint-Julien-le-Montagné. Cette structure d'âge éocène (phase pyrénéo-provençale) met en contact anormal les terrains néocomiens et paléocènes plissés en synclinal et en position inférieure, avec les terrains jurassiques du flanc nord-est du synclinal de Ginasservis, en position supérieure chevauchante (Mennessier, 1967 ; Tempier, 1987). Cette structure est recouverte en discordance par les terrains continentaux (marnes, sables, grès et brèches jaunes et roses) du Miocène moyen, puis par la formation mio-pliocène de Valensole, à dominante conglomératique.

Les tranchées effectuées par Geo-Ter sont situées à 500-600 m du centre de Vinon-sur-Verdon, dans un petit thalweg, en contrebas de la route D 554 ; deux tranchées distantes de quelques mètres orientées NE-SW et NNE-SSW ont été creusées dans le prolongement d'une faille à fort pendage, non mentionnée sur la carte géologique, mais qu'il est possible d'observer en bordure de la route, séparant le Miocène moyen peu incliné, au Nord-Est, des poudingues de Valensole, au Sud-Ouest.

2. DESCRIPTION ANTERIEURE

Néant

3. OBSERVATIONS EFFECTUEES EN TRANCHEE

3.1. Tranchée sud-est (figure 1)

Dans cette tranchée il était possible d'observer dans de très bonnes conditions la zone de faille repérée sur la route D 554 entre le Miocène moyen et le Mio-pliocène (Valensole).

La tranchée a montré :

- des sables et grès bréchiqes roses à jaunes du Miocène moyen, au Nord-Est ;
- des conglomérats gris à jaunâtres de la formation mio-pliocène de Valensole, au Sud-Ouest.

Entre ces deux formations, la zone de faille se développe sur 1,5 à 2 m d'épaisseur, et ce essentiellement (1,5 m environ) aux dépens des roches du Miocène moyen lesquelles paraissent plus argileuses que celles jouxtant, au mur, cette zone. Au toit, il semble que les galets du Valensole soient réorientés parallèlement à la faille, sur une épaisseur de 0,5 m environ.

La zone de faille de 1,5 m d'épaisseur affectant le Miocène moyen correspond à un laminage des grès par de nombreux plans striés dont les plus fréquents sont orientés en moyenne : N 115° E - 60° SW, les directions extrêmes mesurées étant N 95° E - 71° S et N 140° E - 77° SW. La plupart de ces plans portent des stries, le plus souvent dextres, dont le pitch varie de 0° à 40°, à partir de l'Ouest (N 295° E).

Au-dessus, ces deux formations et la zone de faille qui les sépare, sont recouvertes par un dépôt quaternaire très récent, portant un sol actuel ; l'épaisseur de ce Quaternaire varie de 1 à quelques décimètres.

3.2. Tranchées nord-ouest (figure 2)

A la base du parement sud-est de cette tranchée, située à quelques mètres au Nord-Ouest de la précédente, on retrouve sensiblement les mêmes formations, séparées par la même faille qui n'a plus ici que 0,5 m environ d'épaisseur de roche miocène, broyée et laminée.

Cette faille garde la même direction N 115° à 120° E que dans la tranchée sud-est mais le pendage de 65°-75°, vers le Sud-Ouest, s'atténue vers le haut jusqu'à atteindre 35° seulement, entre le Valensole et le Miocène moyen.

Dans cette tranchée le Miocène moyen montre, au-dessus des grès jaunes à roses, des argiles ou limons roses-rougeâtres comportant quelques galets ainsi que de petits nodules carbonatés, vers le sommet de la formation. Les traces de stratification, décelables dans le Miocène moyen et dans la formation de Valensole, paraissent être parallèles à la faille ; ceci suggère que cette faille aurait réutilisé, en cet endroit, l'ancien contact normal de sédimentation du Valensole sur les argilites et grès miocènes.

Au-dessus des terrains miocènes et mio-pliocènes vient une formation quaternaire argilo-silteuse jaune à brun clair qui est interprétée par Geo-Ter comme correspondant à un loess. A sa base, mais dans le parement nord-ouest de cette tranchée, il est possible d'observer un cailloutis à éléments anguleux vraisemblablement d'origine cryoclastique. Ces loess sont connus régionalement pour être würmiens et certains ont été datés par ailleurs de 24 000 ans.

Cette formation loessique est affectée par un plan moyennement à peu incliné (N 120° E - 40° SW à N 160° E - 25° W), qui correspond au prolongement vers le haut de la faille affectant le Mio-Pliocène ; dans le Quaternaire, ce plan de faille est très peu épais et il est envahi par des racines provenant d'un niveau terminal quaternaire. Au niveau de la base de la formation loessique, il semble que le jeu apparent de la faille est légèrement inverse, mais le rejet vertical serait inférieur à une vingtaine de centimètres.

Sur le parement nord-ouest de cette tranchée, vers le bas de la formation loessique, il est difficile de suivre le tracé de la faille, à partir des formations miocènes et mio-pliocènes ; les racines sont en effet absentes et il est vraisemblable que le plan de faille a pratiquement disparu, par suite du tassement et de l'évolution diagénétique du loess.

Toutefois, d'après GEO-TER (renseignement oral de B. Grellet) des diaclases, redressées et colorées en rose comme le Miocène sous-jacent, sont présentes en cet endroit, au-dessus de la zone de faille visible dans les terrains miocènes et mio-pliocènes.

Sur les deux parements de la tranchée, on retrouve comme dans la tranchée sud-est, la formation quaternaire très récente (subactuelle ?) silteuse brun-clair à aspect terreux renfermant quelques galets et comportant à son sommet le sol actuel. Le plan de faille ne l'affecte pas.

La formation loessique recoupée par la faille a une épaisseur pouvant dépasser 1 m, tandis que l'épaisseur de la formation très récente, non faillée, est inférieure au mètre. Le dépôt de cette formation très récente pourrait être dû à une crue de la période historique, comme celle rencontrée en surface de la tranchée de Beaumont-de-Pertuis.

4. INTERPRETATION - CONCLUSION

Les terrains miocènes et mio-pliocènes sont affectés par une faille, décrochante dextre, orientée N 115° à 120° E - 65° à 70° SW, qui pourrait s'être produite après un léger plissement de ces formations.

Cette faille affecte des terrains loessiques quaternaires, vraisemblablement würmiens, au niveau desquels son pendage est plus faible (25° à 45°), tandis que son jeu paraît inverse ou pourrait, du moins, présenter une composante inverse.

La direction de cette faille est parallèle à celle des chevauchements de Vinon et Gréoux, à l'Est, et de Vautubières et Concors, au Sud-Ouest.

Cette faille WNW-ESE dextre, peut-être à composante inverse, a joué à la fin du Würm, et il est possible qu'elle ait joué antérieurement, à la fin du Pliocène. Du fait de son jeu dextre, elle peut être considérée comme une faille conjuguée avec celle de la moyenne Durance. Ainsi, dans ce secteur des environs de l'extrémité sud-ouest de la faille de la moyenne Durance sensu-stricto, la contrainte plio-quaternaire paraît orientée selon la direction NNW-SSE (N 160°E), cette direction étant également celle de la contrainte miocène, qui a engendré les plis de Beaumont-de-Pertuis.



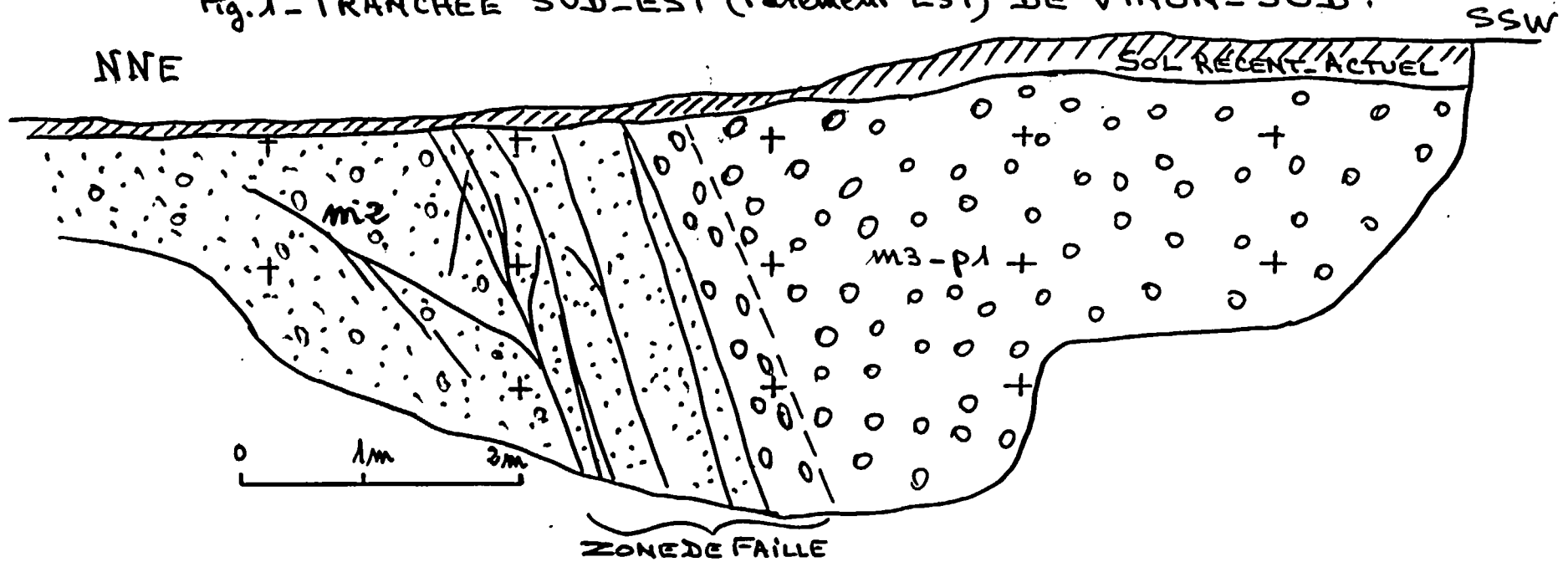
Marseille, le 23 novembre 1995

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MENNESSIER G. (1966-1967) - Carte géologique de la France à 1/50 000 : TAVERNES.
Publ. BRGM, Orléans.

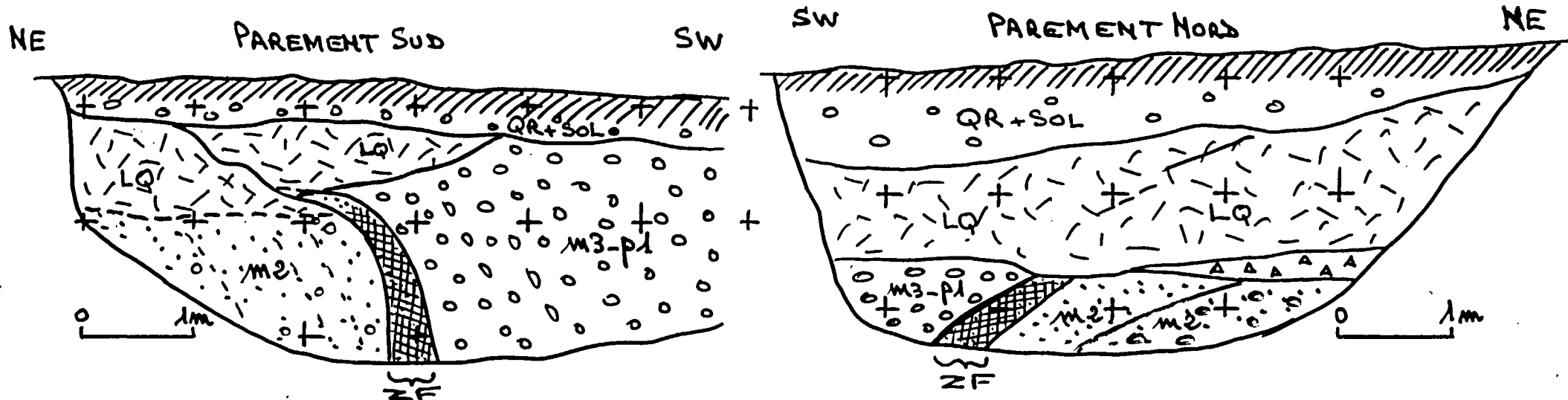
TEMPIER C. (1987) - Modèle nouveau de mise en place des structures provençales. *Bull. Soc. Géol. France*, 8, III, 3, 553-540.

Fig. 1 - TRANCHÉE SUD-EST (Paroi Est) DE VINON-SUD :



m3-p1 : Formation de Valensole, conglomératique, mio-pliocène
m2 : Miocène moyen : grès, grès conglomératiques, argiles

Fig. 2 - TRANCHÉE NORD-OUEST DE VINON-SUD



QR : Quaternaire récent

LQ : Loess quaternaire

m3-p1 : Formation de Valensole (conglomératique), mio-pliocène

m2 : Miocène moyen : marnes, grès et conglomérats

ZF : Zone de faille

ANNEXE 2

**ARTICLE PRÉSENTÉ SUITE AUX RÉSULTATS
ACQUIS DANS LE CADRE DE CE TRAVAIL**

NEOTECTONICS AND PALAEOSEISMICITY IN PROVENCE: CONTRIBUTION TO THE EVALUATION OF SEISMIC HAZARD

J.L. BLES*, M. TERRIER*, A. GHAFIRI**, M. SEBRIER**,
B. SAURET***, P. GODEFROY*, C. MARTIN*

Abstract: Recent neotectonic and palaeoseismic studies have shown that stronger earthquakes than those known from the historical period, i.e. with magnitudes around 6.5, have been triggered by the Nîmes and Middle Durance strike-slip faults, with return periods of about 10^5 years. These results require completion and further refinement, but they already contribute a vital element to the evaluation of regional seismic hazard.

Résumé : De récentes études néotectoniques et de paléosismicité montrent que des séismes plus importants que ceux de la période historique (magnitudes voisines de 6,5) ont été engendrés par les failles décrochantes de Nîmes et de la moyenne Durance, avec des périodes de retour de l'ordre de 10^5 ans. Ces résultats nécessitent d'être complétés et affinés, mais d'ores et déjà, ils apportent un complément très important aux études d'évaluation de l'aléa sismique régional.

1. Introduction

Over the past decade, the BRGM unit "Natural Risks and Geoforecasting" has been carrying out research into neotectonics and, since recently, into palaeoseismicity, in particular in southwestern France (Terrier, 1991; BRGM *et al.*, 1993; Ghafiri *et al.*, 1993; Ghafiri, 1995). This work today benefits from the collaboration by or discussion with several universities, such as Aix-Marseille, Montpellier II and Paris-Sud, and with EDF, GEO-TER S.A. and the I.P.S.N. (Institute for Nuclear Protection and Safety).

The objectives of this work are:

- to make an inventory of and define all active faults,
- to provide elements for the evaluation of the maximum credible earthquake (MCE) that corresponds to such active faults, going back in time beyond the period covered by historical records,
- to evaluate the return period of strong earthquakes.

The following paper presents the results concerning observations of the main surface ruptures seen in Provence, in particular those along two major strike-slip faults. It shows how these results complete the data from historical seismicity, for determining the MCE associated with these tectonic structures, and, by extension, for evaluating the seismic hazard.

* BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Marseille, France

** Université de Paris Sud, Orsay, France.

*** BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, France

The seismotectonic model of Provence was defined by Combes (1984), Combes *et al.* (1991) and Terrier (1991). This model leads to the distinction of four types of active seismogenic structure (Fig. 1). The first two of these correspond to strike-slip faults or fault zones, being the sinistral faults of Nîmes-Pujaut and the Middle Durance-Aix, as well as the Salon-Cavaillon fault zone that probably is dextral but with a normal component, as the main present-day stress acts in a direction close to N-S. The other two types of active seismogenic structures, correspond to reverse or thrust movements of mostly E-W trending structures, a distinction being made between the northerly structures that affect a Mesozoic-Cenozoic cover which is over 6 km thick, and the southerly structures that act upon a cover that is less than 3 km thick.

The main observations of Quaternary surface rupture in this region concern the great strike-slip faults of Nîmes and the Middle Durance.

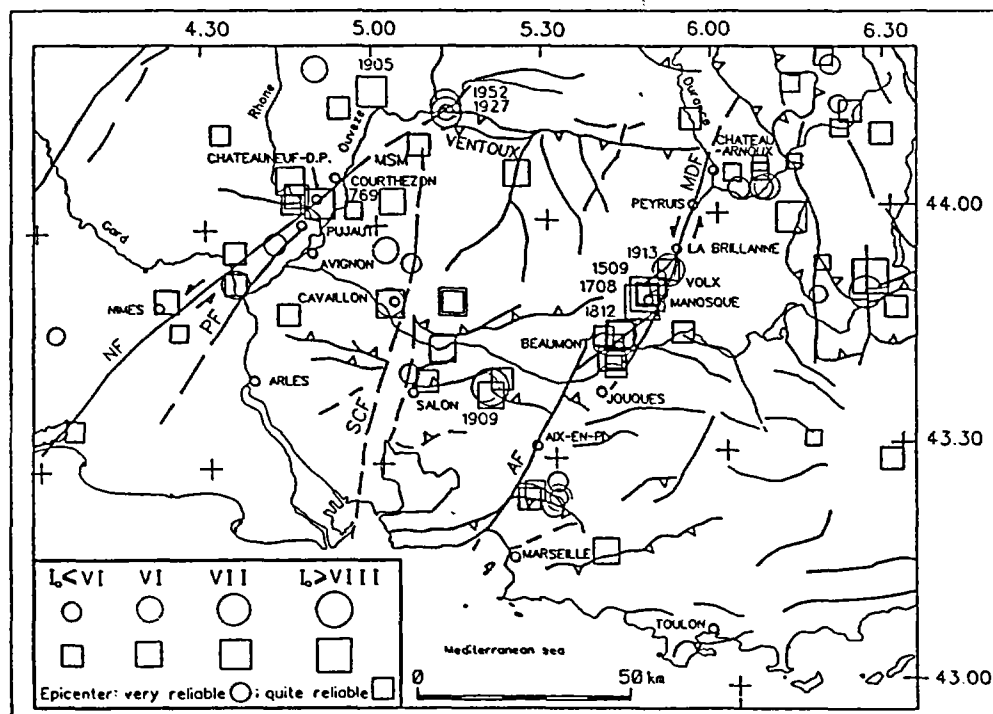


Fig. 1 : Main faults and seismicity of Provence (SE of France)
 AF, MDF, NF, PF and SCF : Aix, moyenne Durance, Nîmes, Pujaut and Salon-Cavaillon faults
 MSM = Montmirail-Suzette massif

2. The Middle Durance fault

The Middle Durance fault is a structure with an average direction of NNE-SSW, known over a length of at least 60 km between Jouques, in the south, and Château-Arnoux in the north. To the south, it is off-set by the Aix fault (Fig. 1). To the north, intersecting the Alpine arc, other faults take over up to the south border of the external crystalline massif of the Pelvoux. The total length of this set of faults is about 200 km.

Under the action of the present-day compressive N-S stress, the Middle Durance fault generally moves in a sinistral strike-slip fashion. In the northern part of the compressive section formed by the Aix fault, between Volx and Beaumont, "satellite" faults with a direction that varies from NNE-SSW to NE-SW, "branch off" from the main fault that is hidden at surface by Recent and Würm alluvium deposited by the Durance (Rouire *et al.*, 1979; Combes, 1984; Villeger, 1984; Terrier, 1991). These structures correspond to the old normal faults that formed the southeast boundary of the Oligocene Manosque-Forcalquier basin.

The strongest earthquakes, those of 13 December 1509 and 14 August 1708, with an epicentral intensity of VIII, the one of 14 May 1913 with an intensity VII-VIII and of 20 March 1812 with an intensity +VII (SIRENE macroseismic database), occurred in this area between Volx and Beaumont, where faults occur that are oblique to the main structure. This means that, during the past three centuries, at least one earthquake occurred each 100 years with an intensity of over VII. In addition, the instrumental seismicity recordings by the LDG over the period 1962-1994 also indicate an activity along the Middle Durance fault, even though the recorded shocks had magnitudes of less than 3.5.

2.1. VALVERANNE SITE

The Valveranne site lies 2 km northeast of Manosque, near one of the branches of the Middle Durance fault (Terrier, 1991). A trench was dug across the fault trace during the installation of a gas pipeline by the Géométhane company, a detailed description of which was made by Ghafiri (1995). This shows a sedimentary succession that consists of torrential deposits with silt-clay lenses (levels SI to SIII, Fig. 2a) that are unconformably overlain by colluvium (level SIV).

The structure affecting levels SI to SIV, is a slightly overturned knick fold that has acted as a reverse fault and has approximately the same N035° strike as the Middle Durance fault. In the lower part of the trench, the axial plane of the fold dips 55° to the southeast, but upwards the amount of dip decreases to only 25° below the SIV colluvium that seals the deformation. On either side of the fault, the bedding has remained more or less horizontal to slightly reversal of slope, which excludes a gravity origin of the structure. As a glacial origin in this location is out of the question, too, the only plausible explanation for this feature is tectonic.

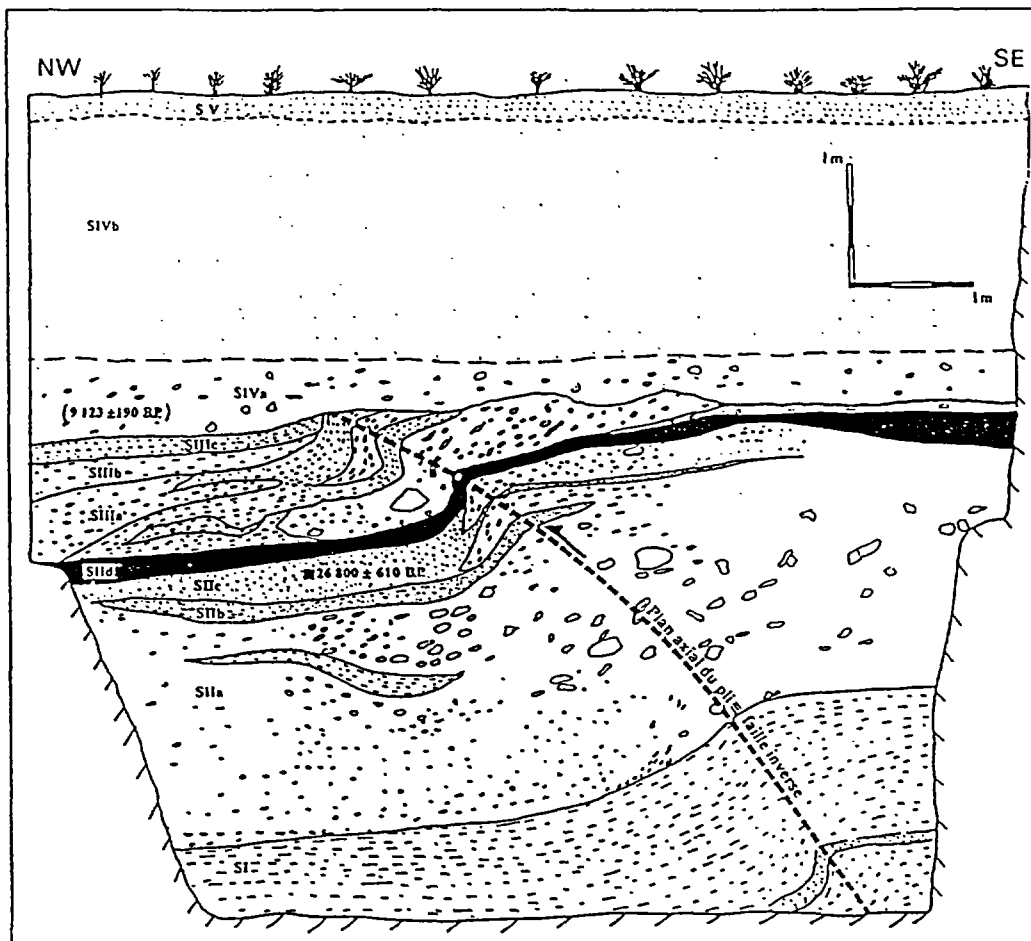


Fig. 2a : Palaeosismicity study trench in Manosque-Valveranne : Trench section (after Ghafiri, 1995)

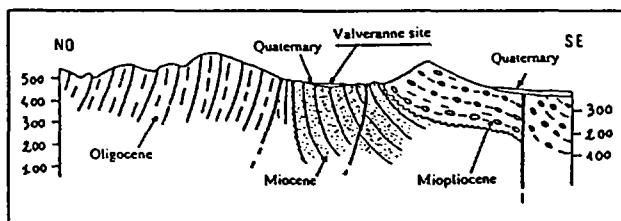


Fig. 2b : Palaeosismicity study trench in Manosque-Valveranne : geologic location (after Terrier, 1991)

An age of 9123 ± 190 yrs B.P. (Early Holocene) was found for the SIV colluvium that unconformably covers the deformed ground. This age was obtained by the standard C14 method on carbonates pupas found in artificial outcrops of this level, near the trench. A C14 isotope date (AMS) on charcoal from the upper SIIc part of the torrential deposits

gave $26,800 \pm 610$ yrs B.P. Because of this date and facies analogies, the torrential deposits (SI to SIII) affected by deformation can be attributed to the detrital phase of the recent Würm, which is characteristic of the Durance Quaternary.

The fact that the amplitude of vertical throw, i.e. at least 1 m, is the same between the oldest and youngest deformed layers, and that the thickness of all folded layers is the same on either side of the fold, speaks for a single and non-progressive displacement event. This deformation thus very probably corresponds to a palaeo-earthquake related to the reactivation of one the branches of the Middle Durance fault, which passes about 200 m to the southeast of the trench. It is probable that at depth, in the underlying Miocene, this fault corresponds to a reverse fault that is linked to this branch (Fig. 2b), and that it was created as the result of deep seismic rupture along this fault.

2.2. LA BRILLANNE SITE

La Brillanne site lies about 1 km north of this locality, or about 15 km northeast of Manosque. The outcrop created by excavations for the A51 motorway was studied by Terrier (1991). It shows Miocene sandy marl, overlain by alluvium filled with unsorted limestone and granite pebbles that range in size from a few centimetres to a few decimetres (Fig. 3). This alluvium is attributed to the recent Riss, as it forms a terrace below another Brillanne terrace that was assigned an old-Riss age (Gigot *et al.*, 1982).

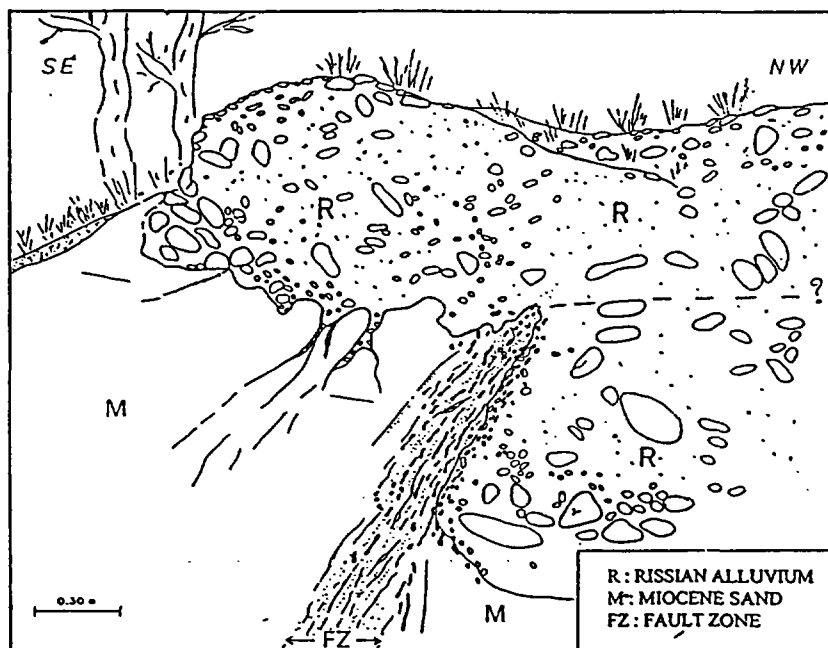


Fig. 3 : Offset of a rissian terrace due to a reverse fault, near La Brillanne, Alpes-de-Haute-Provence (after Terrier, 1991)

A fault affects the lower part of the recent-Riss terrace, which it vertically displaces by about 1 m. The fault zone corresponds laminated marl over a width of a few decimetres; it contains pebbles dragged into it from the terrace, as well as younger whitish limestone nodules that almost certainly were created as the result of water circulation through the fault zone. The strike of this fault is close to NE-SW, as the measured shear planes have directions between N030° and N070°, dips being 35-40° to the southeast. Two such planes contain slickensides from the southwest and dipping 35-40°, indicate reverse movement with a sinistral component for this fault. This reverse sinistral movement probably took place during the recent Riss, as the two fault blocks are covered by similar alluvium as that found in the downthrown block, but without any trace of faulting.

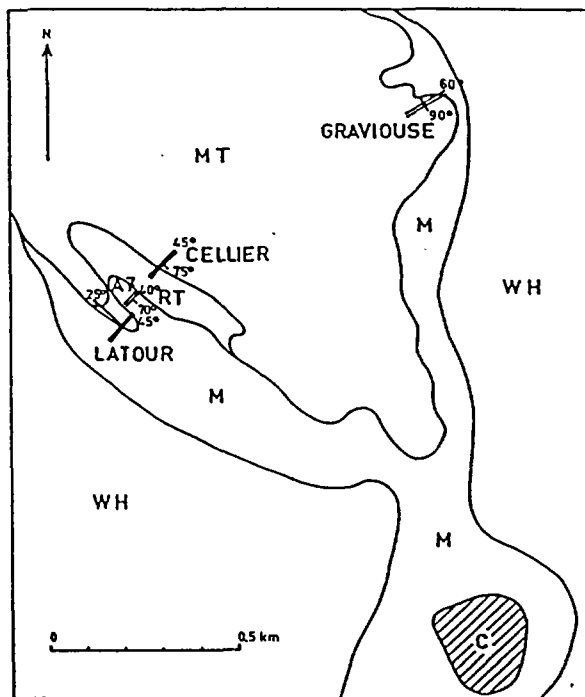
3. Nîmes fault

The Nîmes fault is a NE-SW structure known on surface and through geophysics over more than 100 km between the Rhône river in the northeast and the Gulf of Lions in the southwest. In its southwestern part, south of Nîmes, it bounds an Oligocene graben in which Cenozoic deposits reach a thickness of 5000 m. Between Nîmes and the Rhône, the Pujaut fault, with the same strike but dipping to the northwest, seems to be conjugated with it (Fig. 1). Beyond the Rhône valley and the Ouvèze plain, through which it is difficult to follow its trace, it is generally assumed that it continues in the NE-SW faults that border the Suzette massif to the northwest, a diapir that acted as a NE-SW graben during the Oligocene.

The Nîmes fault has a moderate seismicity that is particularly developed between the Rhône valley and the environs of Nîmes. In this area, the epicentral intensity of significant earthquakes was VII (events of 18 November and 21 December 1769) or VI-VII (events of 24 September 1924 and 30 September 1946). East of the Rhône, it seems that the intersection of the northeast continuation of the Nîmes fault with the Ventoux thrusts were at the origin of the 24 July 1927 and 8 June 1952 earthquakes, both of which had an intensity of VII. The seismicity recorded by the LDG network between 1962 and 1994 confirms the activity of the Nîmes and Pujaut faults between the Gard and Rhône valleys. All instrumental earthquakes had focal points with a depth of less than, or equal to, 10 km.

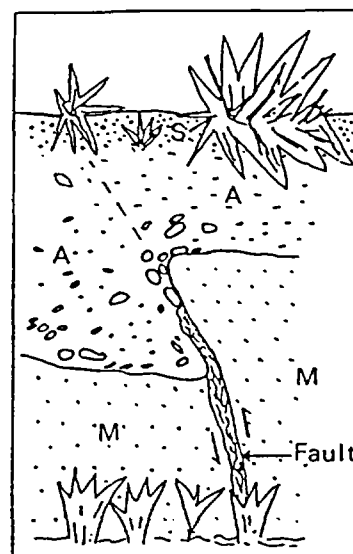
3.1. COURTHEZON AREA

The Courthezon area lies some 50 km to the northeast of Nîmes (Fig. 1), in the depression formed by the Rhône and Ouvèze valleys. The outcrops in this area consist of yellow Miocene marl and sand, overlain by a Quaternary alluvial terrace that is attributed to the Mindel (the so-called Orange terrace; Montjuvent *et al.*, 1991). The sites investigated for traces of palaeoseismicity lie about 1 km north and northwest of the village of Courthezon, or slightly north of the presumed trace of the Nîmes fault (Fig. 4).



*M: miocene sand, clay and "molasse";
 MT: mindelian terrace; RT: rissian terrace;
 WH: wurmian and holocene alluvium and palustrine
 deposits*

Fig. 4 : Location of the Graviouse, Cellier des Princes and Latour deformations, near Courthezon (C), Vacluse



*S: present soil;
 A: mindelian alluvium;
 M: miocene sand*

Fig. 5 : Offset of a mindelian terrace due to a reverse fault in Courthezon-Cellier des Princes (after Pasqual, 1978)

3.1.1. Sites of the Cellier des Princes and the Graviouse

The Cellier des Princes site, studied by Pasqual (1978), lies just over 1 km from the village of Courthezon. Within an artificial embankment, the base of the stony "Mindel" terrace has been off-set over 0.5 m by a reverse NE-SW fault with a SE dip of 60 to 85° (Fig. 5). In the southeast continuation of this fault, less than 200 m away and along the A7 motorway, the marly Miocene sand contains gashes about 1 cm wide that have a reverse en-echelon arrangement. The gashes are filled with injected sand and whitish carbonates that are clearly younger.

Near the Graviouse quarry, about 1 km northeast of the Cellier des Princes site, a trench showed the presence of a sedimentary vein in the marly/sandy Miocene deposits. This sub-vertical vein has a strike of N050°-070° and is 5-10 cm thick, consisting of centimetre-thick alternating sand and silt beds (Ghafiri, 1995). The upper part of the vein penetrates about 10 cm into the base of the "Mindel" terrace. Grainsize analysis of the sand in the vein and the somewhat bulging aspect of its walls, indicate that its emplacement may have been due to a liquefaction phenomenon. In addition, one of the trench walls showed how the vein is off-set by about 5 cm by a thin sub-horizontal fracture.

3.1.2. Latour site

About 200 m southwest of the Cellier des Princes talus slope, in the hamlet of Latour, the I.P.S.N. and GEO-TER have dug two trenches and two successive talus slopes (Fig. 4) through a showing discovered by workers of the electricity boards (EDF) (Carbon *et al.*, 1993). In these excavations and slightly off-set to the southeast in comparison to the southwest continuation of the Cellier fault, two slightly dipping reverse faults were seen, with an average NE-SW strike direction and a NW dip of 15-35°. These faults affect Miocene sand as well as a terrace attributed to the Riss. This terrace consists of two levels of cobbles and gravel, alternating with two layers of carbonate-rich silt.

In one of the excavations, it was seen that the vertical displacement along the fault is 60 cm, when considering the pebbly base of the "Riss" terrace, but only about 30 cm for the upper pebbly level in this terrace. Moreover, between the two branches of the twinned fault, the pebble level at the base of the terrace has been turned up and even overturned, whereas the upper pebble level has remained horizontal, even though being off-set by the two branches of the fault. This reverse-faulting deformation thus took place in two steps: the first was during the early stages of deposition of this terrace attribute to the Riss, the second taking place after deposition of the terrace. The deformation was sealed by a brown soil that is attributed to the Holocene. Finally, a grey soil that is continuous between the two trenches and has been dated at 2700 yrs B.P. through palaeontology and archaeology, has not been affected.

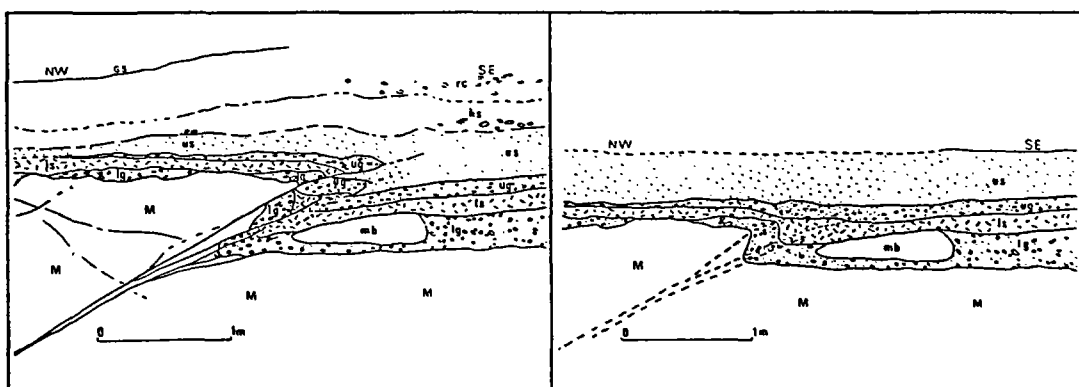


Fig. 6a: Offset of a rissian terrace due to a reverse structure in Courthezon-Latour (trench made by I.P.S.N./BERSSIN and GEO-TER) Fig. 6b: Palaeoreconstruction of the first movement produced before the end of the rissian deposition

GS: ground surface; rc: recent colluvium; hs: holocene soils; us: upper silts; lg: lower gravels; mb: miocene boulder (into the lg level); M: miocene sands and "molasse".

3.2. OTHER OBSERVATIONS ALONG NIMES FAULT

Northwest of Courthezon, the Ouvèze plain is filled by Würm or more recent alluvium, pebbly or silty, in which no trace of the Nîmes fault is found. In addition, in the northeast continuation of the Nîmes fault and on the northwest edge of the Suzette diapir, a terrace

attributed to the Mindel shows no trace of rupture, except for a few vague morphological anomalies.

About 4 km southwest of the village of Courthezon, in the hamlet "Ferme Baban", a reverse fault with a strike of N040-060° and a SE dip of 25-35°, off-sets Miocene beds vertically by 0.5 m and might also affect Quaternary deposits. Here, Gabert (1969) found morphological anomalies in the elevation and dip of the old-Quaternary terraces.

West of the Rhône, the high Pliocene-Pleistocene terraces cover the Nîmes fault without off-set. However, Grellet *et al.* (1993) described disturbances from a high terrace that very probably are the result of liquefaction phenomena.

4. Evaluation of palaeo-earthquake magnitude

The magnitude of palaeo-earthquakes was evaluated in two ways: by using the empirical equations, recently proposed by Wells et Coppersmith (1994), for magnitude and rupture parameters, and by trying to evaluate the seismic moment from available surface data followed by the calculation of a magnitude value.

The simplest and most currently used equation for the seismic moment is: $M_0 = \mu \cdot D \cdot L \cdot W$

where the seismic moment M_0 is expressed in N.m (Newton metre) with:

μ : the shear modulus of the affected rock mass (generally taken as $3 \cdot 10^{10}$ N/m²); D : the average co-seismic displacement at the source (m); L : the length of seismic rupture (m); W : the width of the rupture, along the line of steepest slope (m).

The moment magnitude (M_w) is given by the equation: $M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 6$.

In the case of the Nîmes and Middle Durance faults, the main problem when evaluating magnitude resides in the fact that the length of the surface rupture is unknown, because of the small number of specific investigations. All observed ruptures are of the reverse-fault type, a type for which the regression laws of Wells and Coppersmith, relating magnitude and surface displacement, are "not significant at a 95% probability level". In addition, and making a rather rough approximation by supposing that, for calculating the seismic moment, the values for the geometric parameters of surface rupture are close to the values of the same parameters at the source, it is still necessary to know the length of this rupture, which in this case is not even seen on the surface. Notwithstanding this restriction, we have attempted to calculate the magnitude values for the palaeo-earthquakes that would correspond to the observed deformation.

4.1. ESTIMATING THE MAGNITUDE OF THE MANOSQUE-VALVERANNE PALAEO-EARTHQUAKE

In the Valveranne trench, the off-set of beds along the axial plane of the fold can be taken as a reverse fault with a value of about 1.2 m (Ghafiri, 1995). Using the law of

Wells and Coppersmith (1994), which gives a magnitude value in terms of maximum displacement (MD) for the case of reverse rupture:

$$M = 6.52 (\pm 0.11) + 0.44 (\pm 0.26) \log (MD)$$

and even though this is not very representative and admitting, in the absence of other data, that MD = 1.20 m, we get a value of M = 6.6.

It is also possible to estimate the length of the rupture that corresponds to a maximum displacement of 1.20 m. Still using a regression law calculated by Wells and Coppersmith, we obtain a length for the surface rupture of close to 25 km. As the fault to which we have assigned the deformation observed at Valveranne does not seem to go as far, and certainly does not go beyond Manosque in a southwesterly direction, a length of 25 km would mean that the rupture developed from Manosque to Peyruis. We know that the Valveranne fault rejoins the main Middle Durance fault near Volx, and that it is known to at least as far as Peyruis (Terrier, 1991). This length of 25 km thus seems to be quite possible.

Admitting that the characteristics of the seismic rupture corresponding to the deformation at Valveranne would be : L = 25 km; W = 12 km; D = 1.20 m, we get a seismic-moment value Mo = 10.37 10¹⁸ N.m and a moment magnitude Mw = 6.7.

4.2. ESTIMATING THE MAGNITUDE OF THE COURTHEZON PALAEOEARTHQUAKE

At Cellier des Princes, the throw along the reverse fault in the "Mindel" is 0.50-0.55 m. On the Latour site, deformation took place in two events; reconstruction of the two shows that, during the second rupture, the reverse throw along the fault and in the section plane was 0.60-0.70 m, but that during the first deformation the throw was 0.80-0.90 m.

The regression law for reverse ruptures, calculated by Wells and Coppersmith, gives for a maximum displacement at surface of 0.65 m, a value M = 6.4. Using the law that links the length of surface rupture with maximum displacement, we obtain a length of close to 20 km for a displacement of 0.65 m. This length of 20 km would correspond to all of the Ouvèze valley between the Mesozoic rocks of Chateauneuf-du-Pape in the southwest and of Montmirail-Suzette massif in the northeast. It is possible that the rupture affected the entire width of the valley; the latter now is filled with alluvium of Würm to Holocene age, or by "Mindel" and Villafranchian terraces that lie over a Miocene-to-Pliocene substratum. The deposit of Würm to Holocene age probably are younger than the co-seismic deformation, and we know that the "Mindel" and certainly also the Villafranchian terraces were remodelled by the very violent winds that blew in late Würm times (Montjuvent *et al.*, 1991). It is thus quite possible that surface ruptures were wiped out by abrasion, or were later covered by recent alluvium.

Adopting the values of L = 20 km; W = 10 km; D = 0.65 m, as characteristics of seismic rupture, we obtain a value of Mo = 3.9 10¹⁸ N.m and thus of Mw = 6.4.

5. Evaluating the recurrence of strong earthquakes

Today, two palaeo-earthquakes have been recorded for the Middle Durance fault. One probably was of Riss age, between 250,000 and 120,000 yrs B.P., at La Brillanne; the other took place between 27,000 and 9,000 yrs B.P., at Manosque-Valveranne.

As far as the Nîmes fault and its northeastern continuation on the Courthézon-Latour site concerns (Carbon *et al.*, 1993), we know of a Riss palaeo-earthquake and another that occurred between the Riss and the Holocene, between 120,000 and 10,000 years B.P.

On the basis of just the available data, it can be said the recurrence of strong earthquakes, i.e. of $M > 6$, related to the Nîmes and Middle Durance faults, must be about 10^5 years. However, further work along the faults described above will be necessary for the more precise definition of the recurrence of such strong earthquakes as well as their magnitude.

6. Conclusions

The palaeoseismicity studies carried out in Provence over the past years, have led to the recognition of earthquake traces that are older than the historical period.

The recognition of such strong events, with a magnitude over 6.0 and probably close to 6.5, has led to a reconsideration of the seismic-hazard evaluation for this region, at any rate for the active seismogenic structures of the Nîmes and Middle Durance faults. The strongest known earthquakes that can be identified for these structures, i.e. that of 21 December 1769 for the first, and that of 14 August 1708 for the second, had respective epicentral intensities of VII and VIII. According to the recently drawn up French legislation concerning constructions at special risk, such an earthquake, increased by its safety factor, thus could have an intensity of VIII or IX, which corresponds to magnitudes between 5 and 6, whereas the magnitudes of the recently discovered palaeo-earthquakes must have fallen between 6 and 7.

In the future, such new data will have to be taken into account for the evaluation of seismic hazard, even though such strong earthquakes would have a recurrence period that is in excess of several tens of thousands of years.

Bibliography

BRGM, EDF/TEGG, GEO-TER, IPSN/BERSIN, Université de Paris-Sud (1993). *Paléosismicité et aléa sismique : méthodes d'études et recherches actuelles en France*. Géochronique, n°46, p.17-21.

Carbon D., Combes P., Cushing M., Granier T. (1993). *Enregistrement d'un paléoséisme dans des sédiments du Pléistocène supérieur dans la vallée du Rhône : quantification de la déformation*. Géol. alp., 69, p.33-48.

Combes P. (1984). *La tectonique récente de la Provence occidentale : microtectonique, caractéristiques dynamiques et cinématiques ; méthodologie de zonation tectonique et relations avec la sismicité*. Thèse 3ème cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg.

Combes P., Godefroy P., Goula X., Levret A., Sauret B., Terrier M. (1991). *The contribution of neotectonics to the deterministic evaluation of seismic hazard in the Western Provence (France)*.- Proc. of the IVth International Conference on Seismic Zonation, Stanford (USA), 25-29 August 1991, t. II, p.541-548.

Gabert J. (1969). *Les terrasses quaternaires et la néotectonique dans la région de Chateauneuf-du-Pape*. Méditerranée, n°4, p.371-382.

Ghafiri A. (1995). *Paléosismicité de failles actives en contexte de sismicité modérée : application à l'évaluation de l'aléa sismique dans le Sud-Est de la France*. Thèse Univ. Paris-Sud (Orsay).

Ghafiri A., Sauret B., Rosique T., Blès J.L., Sébrier M. (1993). *Mise en évidence d'un paléoséisme sur la faille de la moyenne Durance*. Coll. Mesures de la déformation récente et actuelle, Chambéry, 18-19 mai 1993, Géol. alp., sér. spéc. Rés. coll., n°2, p.24-25.

Gigot P. et al. (1982). *Carte géologique de la France à 1/50 000 : Forcalquier, n°943*. Orléans : Publ. BRGM.

Grellet B., Combes P., Granier T., Philip H. (1993). *Sismotectonique de la France métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique*. Mém. Soc. géol. Fr., n°164, 2 vol., 76 p. - 24 pl., 1 carte 1/1 000 000.

Montjuvent G. et al. (1991). *Carte géologique de la France à 1/50 000 : Avignon, n°940*. Orléans : Publ. BRGM.

Pasqual G. (1978). *Présence d'une faille à rejeu quaternaire au Cellier des Princes, Courthézon (Vaucluse)*. Géol. médit., t. V, n°3, p.325-326.

Rouire J. et al. (1982). *Carte géologique de la France à 1/50 000 : Manosque, n°969*. Orléans : Publ. BRGM.

Terrier M. (1991). *Néotectonique de la Provence occidentale (France) : vers une analyse multicritère des déformations récentes. Applications à la classification des structures sismogènes*. Thèse Univ. Provence, Marseille ; Doc. BRGM, France, N°207.

Villeger M. (1984). *Evolution tectonique du panneau de couverture nord-provençal (Mont Ventoux, Lubéron, Moyenne Durance)*. Thèse 3ème cycle, Orsay, 181 p.

Wells D.L., Coppersmith K.J. (1994). *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement*. Bull. Seism. Soc. Amer., vol.84, n°4, p. 974-1002.