

Failles actives en domaine de déformation lente : définition, méthode d'identification et classification

PROPOSITION

Monique TERRIER
BRGM/DRP/RSV
Orléans

4 AVRIL , PARIS , Projet « failles actives – néotectonique » France - RESIF

Réflexion développée dans le cadre d'un projet de recherche conjointe EDF (CEIDRE/TEGG) et BRGM.

Objectif de l'étude :

Formaliser une méthode pour l'estimation de l'activité des failles :

- a) en domaine de faible déformation
- b) en fonction des connaissances disponibles.

1) indépendamment du contexte géodynamique, **état de l'art** sur :

- Les **définitions** des failles actives,
- Les **base de données** failles actives (méthodes, critères d'identification/qualification, incertitudes),
- Les **méthodes de classification ou de hiérarchisation** des failles actives.

2) Bilan des **derniers travaux de recherche** sur les failles actives en domaine de faible déformation :

- Modèle Cluster & Quiescence (Clark et al.),
- interaction des failles (Liu et al.), modèle SCR
- perturbation transitoire de l'état de contraintes local (Calais et al.).

3) **Proposition** :

- qualification d'une faille active en domaine intraplaque de faible déformation,
- démarche d'identification,
- test

Constats :

En domaine intraplaque à déformation lente :

- ✓ les données sismiques ou paléosismiques sont rares ;
- ✓ les modèles de type cycle sismique, communément appliqués pour les domaines interplaques de forte sismicité, sont mis en doute ;
- ✓ Il est nécessaire d'**intégrer la possibilité d'une phase longue d'inactivité** ;
- ✓ Les paramètres d'activité sismique des failles (vitesse de mouvement, récurrence des forts séismes, etc.) sont indéterminés dans la plupart des cas ou sinon d'incertitude élevée.
- ✓ La caractérisation des failles en fonction des paramètres quantitatifs ne peut pas être mise en œuvre. Il est donc nécessaire de **décrire les failles et leur activité tectonique sous la forme de variables qualitatives.**

Conséquences, par rapport aux objectifs fixés initialement :

- Nécessité de préciser ce que l'on entend par « faille active, en zone intraplaque de faible déformation »
- la démarche d'identification et classification :
 - doit utiliser des **variables qualitatives, multicritères.**
 - tenir compte de la fiabilité des connaissances sur le diagnostic final (incertitude ou degré de confiance)

Déclinaison de la notion de faille active en domaine intraplaque de faible déformation autours de 5 classes distinctes.

Faille active de classe 1

- 1) Relation établie entre une **activité sismique** significative (instrumentale et historique) et/ou
- 2) Déformations tectoniques **Holocène** avérées.

Faille active de classe 2

- 1) Relation établie entre une **activité sismique** significative (instrumentale ou historique) et/ou
- 2) déformations tectoniques **Pléistocène supérieur** avérées.

Faille active de classe 3

Faille présentant des déformations tectoniques du **Pléistocène moyen ou « inférieur »** (i.e. Calabrien et Gélasien).

Faille **potentiellement** active de classe 4

- 1) Failles à jeu **Pliocène** (ou indiqué de façon plus large Plio-Quaternaire) avéré, ou
- 2) Failles avec des **indices** néotectoniques fiables.

Faille **potentiellement** active de classe 5

- 1) Failles présentant des traces d'activité tectonique **Néogène**, ou
- 2) Failles à jeu plus ancien mais avec une extension jusqu'au socle (faiblesse crustale) **et** une activité tectonique régulière depuis la fin du primaire.

Définition retenue en domaine interplaque

Données multicritères : oui, mais lesquelles ?

THEME	CRITÈRE	JUSTIFICATION
Contexte géodynamique	Régime de déformation	Il s'agit de replacer la faille dans le contexte géodynamique régional (distensif, compressif, décrochant), et d'indiquer depuis quand ce régime existe. Les failles ayant joué depuis cette mise en place seront a priori plus sujettes à une réactivation que les autres.
	Âge du champ de contraintes actuel	
Tracé	Localisation à la surface du sol	Tracé unique cohérent avec les directions structurales régionales
		Trace complexe (échelons, segments rapprochés parallèles)
	Extension en profondeur	Faille isolée Faille majeure zone de faiblesse crustale
Lien structural	Faille majeure, secondaire, isolée	Il s'agit de voir l'importance de la faille par rapport au cadre structural régional.
Histoire tectonique	Indiquer l'activité tectonique de la faille au cours des différentes périodes géologiques, depuis sa mise en place jusqu'au dernier jeu connu.	Apprécier la régularité de l'activité de la faille depuis la fin du Primaire, indépendamment du régime de contraintes. Selon le cas, cette régularité pourra indiquer une zone de faiblesse crustale privilégiée.
		Connaître l'âge de la déformation tectonique la plus récente de la faille.
Indice néotectonique	Indiquer le lien possible avec : <ul style="list-style-type: none"> - une anomalie morphostructurale (décalage de rivière, - Anomalie géophysique (discontinuité) - Anomalie de sondages (décalage de séries), - Détection de mouvement via les données géodésiques (GPS, Interférométrie) - Anomalie géochimique (émanation radon) 	En contexte intraplaque, la connaissance paléosismique ou sismique est insuffisante. Il est nécessaire de rechercher d'autres indications directes ou indirectes du mouvement tectonique des failles. Ces données concernent des disciplines très diverses, de qualité variable.
Expression topographique	Visibilité et régularité du tracé de la faille en surface du sol	Plus l'activité d'une faille est importante et régulière, plus son expression dans la topographie sera visible. Ceci reste particulièrement vrai dans le cas des failles normales, voire inverses, mais peut aussi s'exprimer (bien qu'à un moindre niveau) pour les failles décrochantes.
Sismicité	Relations avec des épacentres de séismes (historiques ou instrumentaux)	La plupart du temps, le lien avec les failles reste incertain. Néanmoins, en cas d'alignement épical ou selon les résultats des mécanismes au foyer des séismes, la relation avec les données tectoniques peuvent être plus sûres.
Nature du mouvement actuel	Cette information peut être déduite des données paléosismiques, des mécanismes au foyer ou plus indirectement des indices de déformations néotectoniques. Elle peut aussi être déduite de la compréhension du modèle géodynamique régional.	Indiquer le mouvement actuel pressenti en cas d'activité de la faille.

Fiabilité ? Incertitude ?

- Fiabilité : appréciation de la qualité de l'information
- Incertitude : degré de confiance apporté au résultat final

Dans une approche multicritère, l'incertitude devra tenir compte de la fiabilité des diverses informations retenues.

- Exemple d'appréciation de la fiabilité de l'information :

Nature du tracé / fiabilité

Bon	Tracé en majeure partie sûr d'après les cartes au 50k, ou précisé dans d'autres publications
Moyen	Tracé sûr d'après les cartes au 1/250 000 ou 1/100 000, ou environ 50% sûr et 50% incertain sur cartes au 50 000
Faible	en majorité incertain sur cartes au 50 000

Extension jusqu'au toit du socle

oui	Étendue de façon certaine jusqu'au toit du socle primaire, mais ne traverse pas nécessairement celui-ci. Visible sur le terrain (OT, observation terrain) ou par géophysique
possible	Possible d'après l'histoire géologique régionale, mais pas d'observation particulière sur la faille. Information donnée par jugement d'expert (JE)
non	faille limitée à une partie de la couverture
i	Inconnue, information insuffisante pour établir un jugement d'expert

Histoire géologique / pour chaque période de temps indiquée

oui	Qualité de l'interprétation bonne : les observations terrains doivent être mesurées (plan de faille, strie, plis) et associées à la faille sans ambiguïté, avec une datation (empirique ou absolue) des terrains précisée (il s'agit en particulier du cas de rupture en surface avec interprétation de paléoséisme, Holocène). En exemple, faille de la Trévaresse
possible	Petites déformations tectoniques, sans rejets mesurables ou avec une datation ambiguë des terrains, ou relation avec la faille mise en doute. En exemple : Faille de la Têt, Faille de Salon-Cavaillon
non	Décalage des formations géologiques par la faille oblitéré par les terrains relatifs à la période considérée ou bien, faille mises en place après la tectonique tardihercynienne Exemple, nappe de Digne
i	Activité non connue, les connaissances actuelles sont insuffisantes pour donner un avis sur l'activité de la faille au cours de cette période.

Caractéristiques de l'approche proposée :

Elle s'appuie sur la déclinaison en 5 classes de failles actives ou potentiellement actives.

La hiérarchisation de la susceptibilité d'activité en 5 niveaux décroissants est établie selon des règles à dire d'expert.

La méthode est basée sur des variables qualitatives, multicritères.

Elle s'appuie sur les connaissances disponibles.

La fiabilité des connaissances initiales est appréciée en 3 niveaux décroissants (α , β , γ).

L'incertitude du diagnostic est classée en trois degrés de confiance décroissant (A, B, C).

Elle dépend à la fois :

- 1) de la fiabilité du tracé de l'accident et,
- 2) de la qualité des données sismiques, tectoniques ou néotectoniques décrivant la faille.

Matrice pour la classification des failles

Degré de confiance du diagnostic :

A = élevé, B = Moyen, C = faible

Tracé

Fiabilité α

Fiabilité β

Fiabilité γ

Classe 1 : Sismicité (historique ET instrumentale) et/ou déformations tectoniques holocènes

Fiabilité α	A	B	C
Fiabilité β	B	B	C

Classe 2 : Sismicité (historique OU instrumentale) et/ou déformations tectoniques Pléistocène supérieur

Fiabilité α	A	B	C
Fiabilité β	B	B	C

Classe 3 : déformations tectoniques Pléistocène inférieur et moyen

Fiabilité α	A	B	C
Fiabilité β	B	B	C

Classe 4 : déformations tectoniques Pliocène et /ou indices néotectoniques Plio-Pléistocène

Fiabilité α	A	B	C
Fiabilité β	B	B	C

Classe 5 : déformations tectoniques Néogène et/ou ancrage crustal + régularité de l'activité

Déformation Miocène (α) + ancrage croute (α, β) ou régularité de l'activité (α, β)	A	B	C
Déformation Miocène (β) + ancrage croute (α, β) ou régularité de l'activité (α, β)	B	B	C
Déformation Miocène (β) + ancrage croute (γ) et régularité de l'activité (γ)	B	C	C
Ancrage croute (α) et régularité de l'activité (α)	C	C	C

Démarche appliquée à un échantillon de failles en PACA, Pyrénées orientales, Espagne et autres contextes intraplaques.

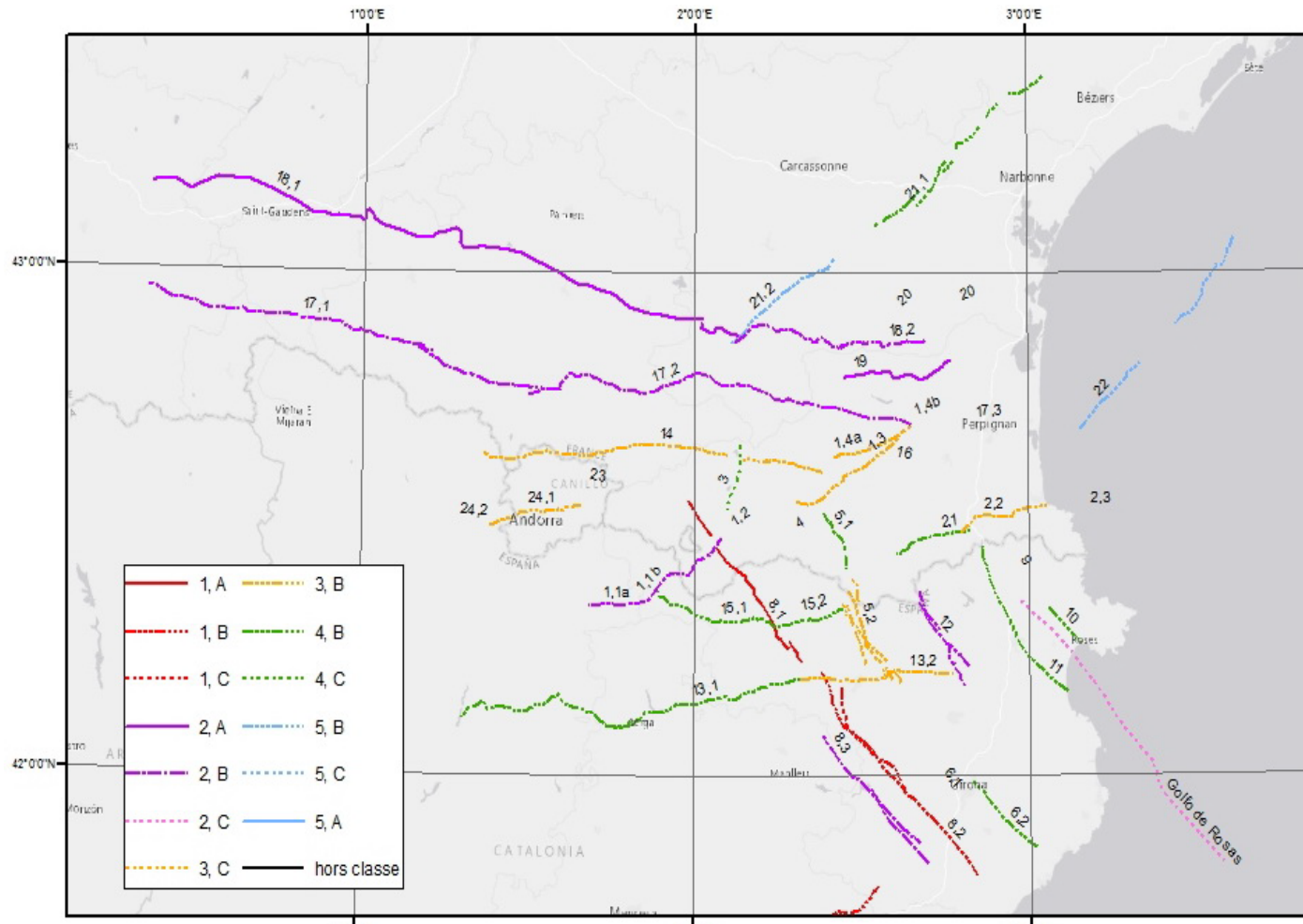
Connaissances rassemblées et structurées en une base test.

Id	Indice	Nom	SISMICITE		HISTOIRE									PROFONDEUR		TRACE		INDICE			RELIEF	JEU	SYSTEME	REGIME		
			sismicite historique	sismicite instrumentale	tecto. holocène	tecto. Pléistocène supérieur	tecto. Pléistocène inférieur et moyen	tecto. pliocène	tecto. néogène	tecto. Cretacé sup. - paléogène	tecto. Secondaire	tecto. Tardi hercynienne	tecto P rimaire ou antérieure	Recurrence géologique	extension jusqu'au socle Primaire	extension dans le socle autochtone	qualité tracé	nature Tracé (BD : single fault; E: Complexe set of multiple faults; I: isolated)	morpho-néotectonique	géophysique	autre (géodésie, sondages, etc.)	expression topographique	nature du mouvement actuel possible	Lien structural	Age duchamps de contraintes actuel	
	PACA-1	Linéament de Hongrie	non	non	i	i			oui	oui	oui	possible	possible	forte	oui	possible	faible	E	non	non	non	non	I	SI	Miocène sup	
	PACA-2a	Recours-Redoublement de Veynes	non	non	i	i			oui	i	i	non	non	faible	i	non	bon	E	non	non	non	faible	I - Dd ?	SS	Miocène sup	
	PACA-2b	Rabioux - Châtillon-le-Désert	non	non	i	i			oui	i	i	non	non	faible	i	non	moyen	E	non	non	non	faible	I - Dd ?	SS	Miocène sup	
	PACA-3a	Poil-Creisset -segment des Moulières	non	non	i	i			possible	oui	oui	oui	i	non	forte	possible	non	moyen	E	non	non	non	moyenn e	I ou Dd	SS	Miocène sup
	PACA-3b	Poil-Creisset -	non	non	i	i			possible	oui	oui	oui	i	non	forte	possible	non	moyen	E	non	non	non	moyenn e	I ou Dd	SS	Miocène sup
	PACA-3c	Poil-Creisset - - segment font d'Isnard	non	non	i	i			possible	oui	oui	oui	i	non	forte	possible	non	moyen	E	non	non	non	moyenn e	I ou Dd	SS	Miocène sup
	PACA-4a	Moustiers - segment de La Maline	non	non	i	i			oui	i	i	non	non	faible	possible	non	moyen	E	non	non	non	bon	I	SS	Miocène sup	
	PACA-4b	Moustiers - segment Montdenier - Plan de Canjuers	non	non	i	i			oui	i	i	non	non	faible	possible	possible	moyen	E	possible	non	non	bon	I	SP	Miocène sup	
	PACA-4c	Moustiers	non	non	i	i		possible	oui	oui	i	non	non	moyenne	oui	possible	bon	E	possible	non	non	bon	I	SP	Miocène sup	
	PACA-4d	Moustiers - segment de Beynes	non	non	i	i		possible	i	i	i	non	non	faible	possible	non	faible	BD	non	non	non	faible	I	SS	Miocène sup	
	PACA-5	Chevauché de la Ceüse	non	non	i	i			oui	i	i	non	non	faible	possible	non	faible	BD	non	non	non	faible	I	SI	Miocène sup	

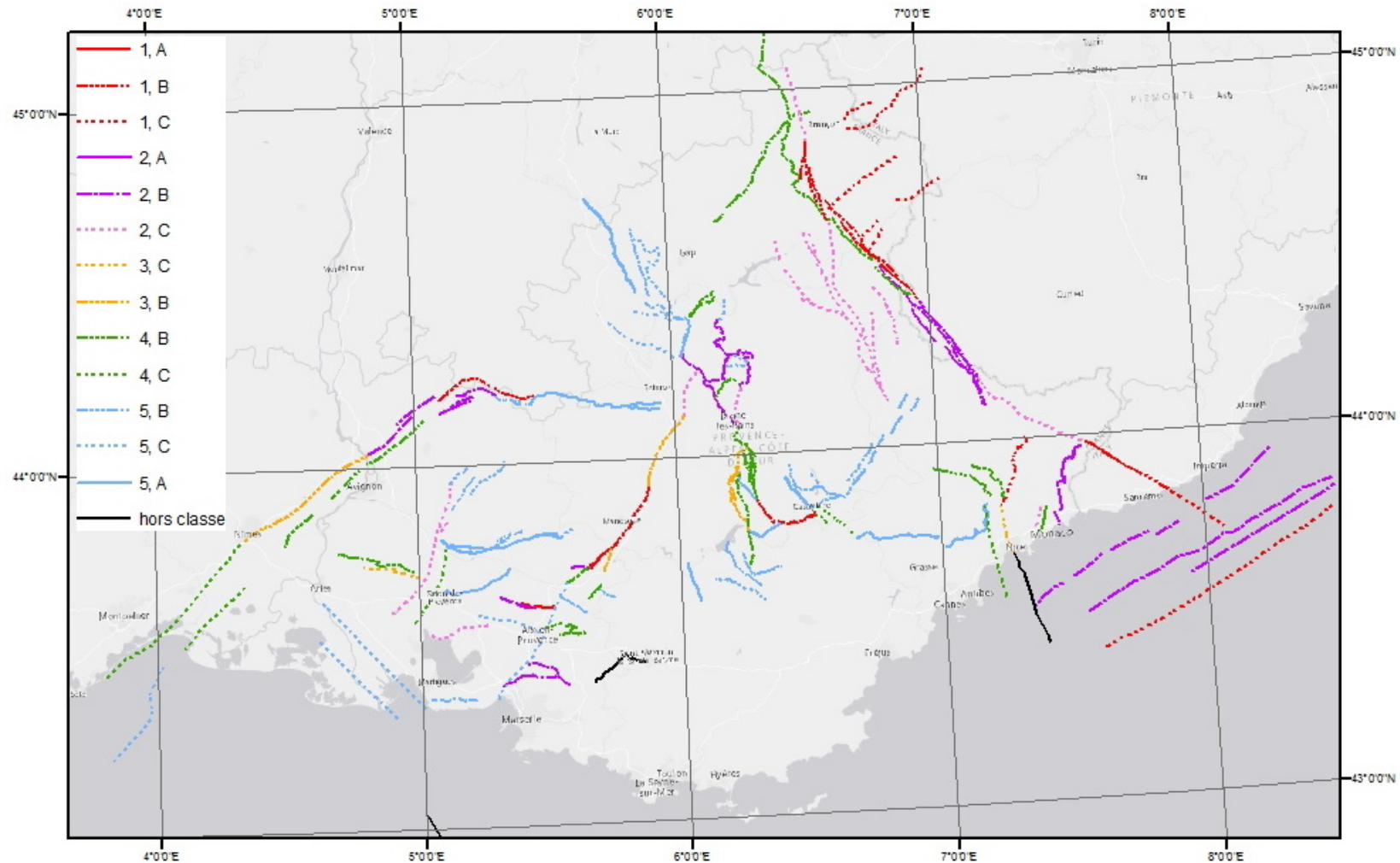
Résultats de la classification appliquée à la base test : extrait

Id	indice	Nom	qualité tracé	sismicite historique	sismicite instrumentale	tecto. holocène	tecto. Pléistocène supérieur	tecto. Pléistocène inférieur et moyen	tecto. pliocène	tecto. néogène	tecto. Cretacé sup. - paléogène	tecto. Secondaire	tecto. Tardi hercynienne	tecto Primaire ou antérieure	récurrence géologique	extension jusqu'au socle Primaire	morpho-néotectonique	géophysique	autre (géodésie, sondages, etc.)	classe	incertitude
1	PACA-1	Linéament de Hongrie	γ	non	non	i	i	i	i	α	α	α	β	β	α	α	non	non	non	5	C
2	PACA-2a	Recours-Redoublement de Veynes	α	non	non	i	i	i	i	α	i	i	non	non	γ	i	non	non	non	5	A
3	PACA-2b	Rabioux - Châtillon-le-Désert	β	non	non	i	i	i	i	α	i	i	non	non	γ	i	non	non	non	5	B
4	PACA-3a	Poil-Creisset -segment des Moulières	β	non	non	i	i	i	β	α	α	α	i	non	α	β	non	non	non	4	B
5	PACA-3b	Poil-Creisset -	β	non	non	i	i	i	β	α	α	α	i	non	α	β	non	non	non	4	B
6	PACA-3c	Poil-Creisset - - segment font d'Isnard	β	non	non	i	i	i	β	α	α	α	i	non	α	β	non	non	non	4	B
7	PACA-4a	Moustiers - segment de La Maline	β	non	non	i	i	i	i	α	i	i	non	non	γ	β	non	non	non	5	B
8	PACA-4b	Moustiers - segment Montdenier - Plan de Canjuers	β	non	non	i	i	i	i	α	i	i	non	non	γ	β	β	non	non	4	B
9	PACA-4c	Moustiers	α	non	non	i	i	β	α	α	i	i	non	non	γ	α	β	non	non	3	B
10	PACA-4d	Mous' segment ynes	γ	non	non	i	i	i	i	α	i	i	non	non	γ	β	non	non	non	3	B

Résultats de la classification



Résultats de la classification



L'approche proposée :

- est relativement **facile à employer**.
- s'appuie sur les **connaissances disponibles**. Il n'est pas nécessaire d'avoir une base de données exhaustive sur les failles. Elle peut être utilisée sur un seul objet.
- reste **modulable** :
 - limites fiable/possible ;
 - critères en + ou en - ;
 - pondération des critères selon leur nature et leur fiabilité.

A ce stade, la hiérarchisation en 5 niveaux décroissants de susceptibilité :

- 1) permet une **première évaluation** de l'activité des failles en domaine de faible déformation tectonique,
- 2) peut déjà guider le choix des études à réaliser pour acquérir des informations plus précises et de meilleure qualité.