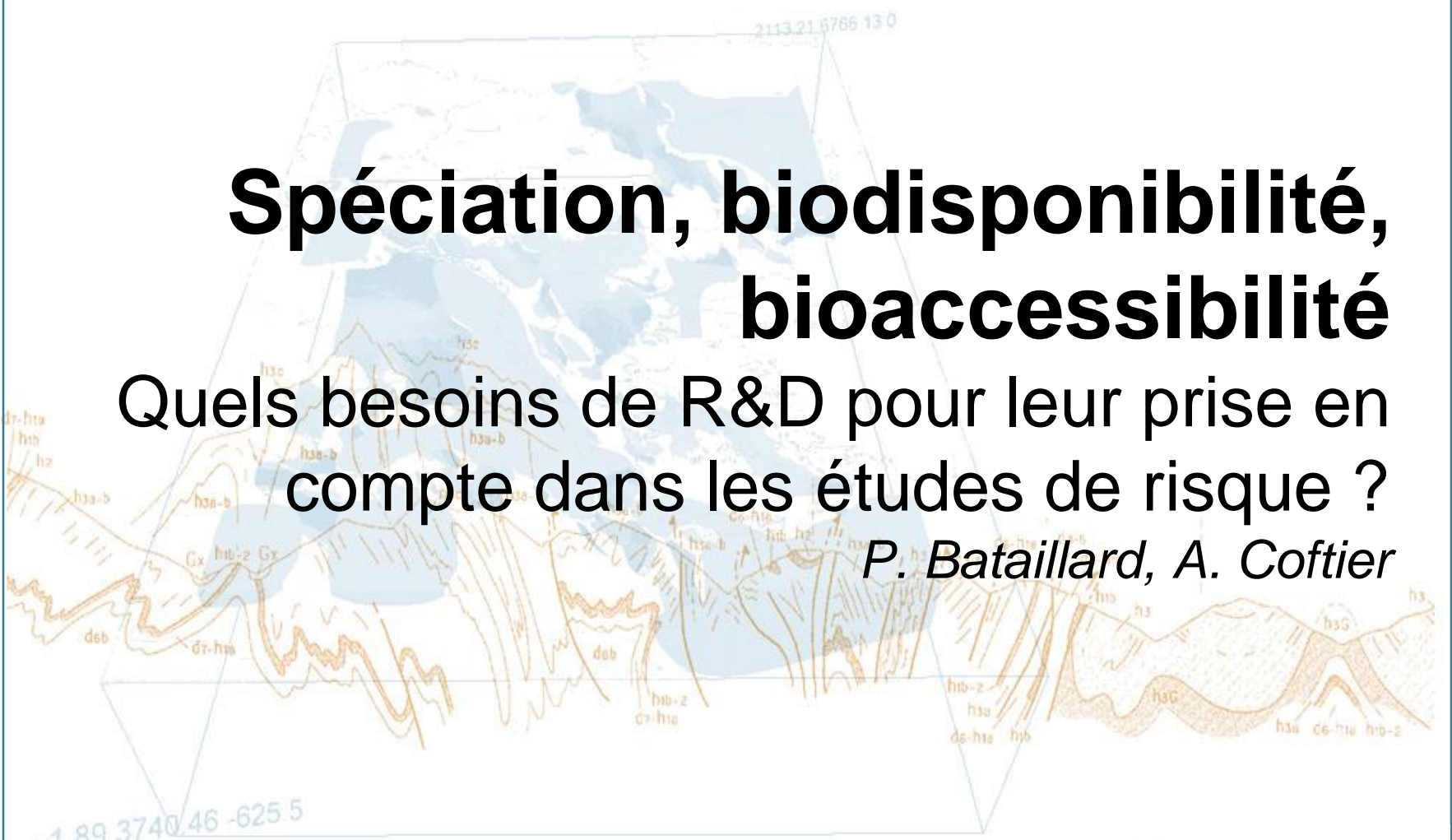


A detailed geological map of the area around Monte Reghina. The map shows various geological units in different colors: red for the main area, green for the eastern part, and blue for the western part. Topographic features include Monte Reghina (1313m) and Monte Felco (195m). The map also shows the location of the village of Pozzo and the town of Cassinetta. The map is oriented with North at the top.



Spéciation, biodisponibilité, bioaccessibilité

Quels besoins de R&D pour leur prise en compte dans les études de risque ?

P. Bataillard, A. Coftier



Contexte

En l'absence de solution de remédiation technico-économique viable, les **pollutions historiques** peuvent être traitées **en fonction de l'usage du site**,

Lorsque la voie d'exposition de l'Homme est l'ingestion, **prendre en compte la teneur bioaccessible** du polluant peut permettre:

- « une estimation plus réaliste de l'exposition,
- une amélioration de l'estimation des niveaux de risques,
- la proposition d'actions mieux proportionnées. » (MEDDE, 2015)

« Cependant, les **données** concernant la biodisponibilité et la bioaccessibilité sont encore **éparses, peu nombreuses dans la littérature et donc pas toujours adaptées au contexte étudié.**

Il est recommandé d'utiliser en priorité des valeurs de bioaccessibilité mesurées dans les **matrices prélevées sur le site d'étude**, et spécifique du milieu d'exposition ».



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Deux normes sont disponibles et clarifient les concepts:

- > **NF EN ISO 17402** - Qualité du sol - Lignes directrices pour la **sélection et l'application des méthodes d'évaluation de la biodisponibilité** des contaminants dans le sol et les matériaux du sol (2011)
- > **XP ISO/TS 17924** - Qualité du sol - **Évaluation de l'exposition humaine par ingestion de sol** et de matériaux du sol (2008)

Lignes directrices pour l'application et la sélection de méthodes d'extraction fondées sur le point de vue physiologique pour l'estimation de la bioaccessibilité/biodisponibilité pour l'être humain de métaux dans le sol

Bioaccessibilité/biodisponibilité définitions

(extrait de XP/ISO TS 17924)

> 3.2 fraction bioaccessible

*fraction d'une substance dans un sol ou dans une matrice sol, **libérée dans les sucs gastro-intestinaux** (humains) et donc disponible pour absorption*

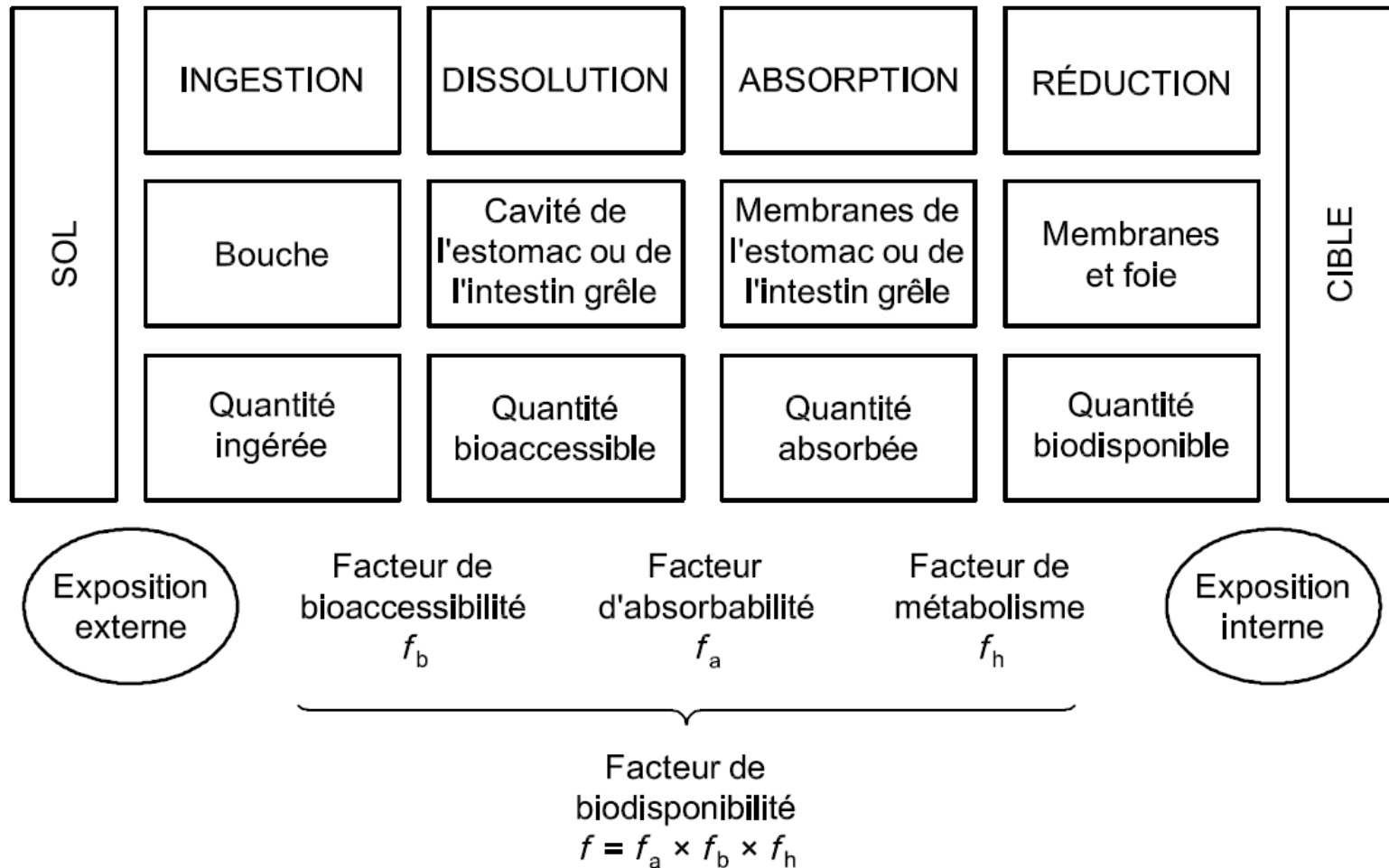
> 3.3 fraction biodisponible

fraction d'une substance présente dans un sol ou un matériau de sol ingéré, **qui atteint la circulation générale** (circulation sanguine)

Fonctions et conditions dans les compartiments impliqués dans les processus de bioaccessibilité (extrait de XP/ISO TS 17924)

Compartiment	Fonctions essentielles de la digestion	Principaux «réactifs» intervenant dans la digestion	pH	Durée de séjour	Fonction de dissolution des contaminants
Bouche	Broyage Dégradation de l'amidon	Humidité Amylase	6,5	Secondes à minutes	Le broyage favorise la dissolution ultérieure.
Oesophage	Transport	Aucun	6,5	Secondes	Aucune
Estomac	Dégradation des protéines et des graisses	Acide chlorhydrique Protéases Lipases	1 à 5	8 min à 3 h	L'acide dissout les oxydes minéraux labiles, des sulfures et des carbonates pour libérer des métaux.
Intestin grêle	Dégradation des oligosaccharides, protéines, graisses et autres constituants Solubilisation des graisses	Bicarbonate Bile Protéases Lipases Oligosaccharases Phosphatases	4 à 7,5	2 h à 10 h	La matière organique est dissoute et les contaminants liés sont libérés. Les métaux cationiques sont solubilisés par complexation avec les acides biliaires. Certains métaux sont précipités par le pH élevé ou par le phosphate.

Représentation schématique des processus d'absorption orale (extrait de XP/ISO TS 17924)



Introduction du Facteur de biodisponibilité dans les calculs de risque

$$QD = \frac{DJE}{VTR} \cdot f$$

QD = Quotient de Danger

DJE = Dose Journalière d'Exposition

VTR = Valeur Toxicologique de Référence (pour les effets à seuil)

F = Facteur de biodisponibilité

Pour certains éléments (As, Cd...), les études ont montré que la totalité de la fraction bioaccessible était absorbée, qui était elle-même non métabolisée. Dans ce cas, alors, $f = fb$.

A noter que la fraction bioaccessible du sol s'exprime par rapport à la fraction bioaccessible de référence utilisée pour établir la VTR (on parle de bioaccessibilité relative).

Mesure de la bioaccessibilité relative

L'essai est exigeant. Doivent notamment être spécifiés :

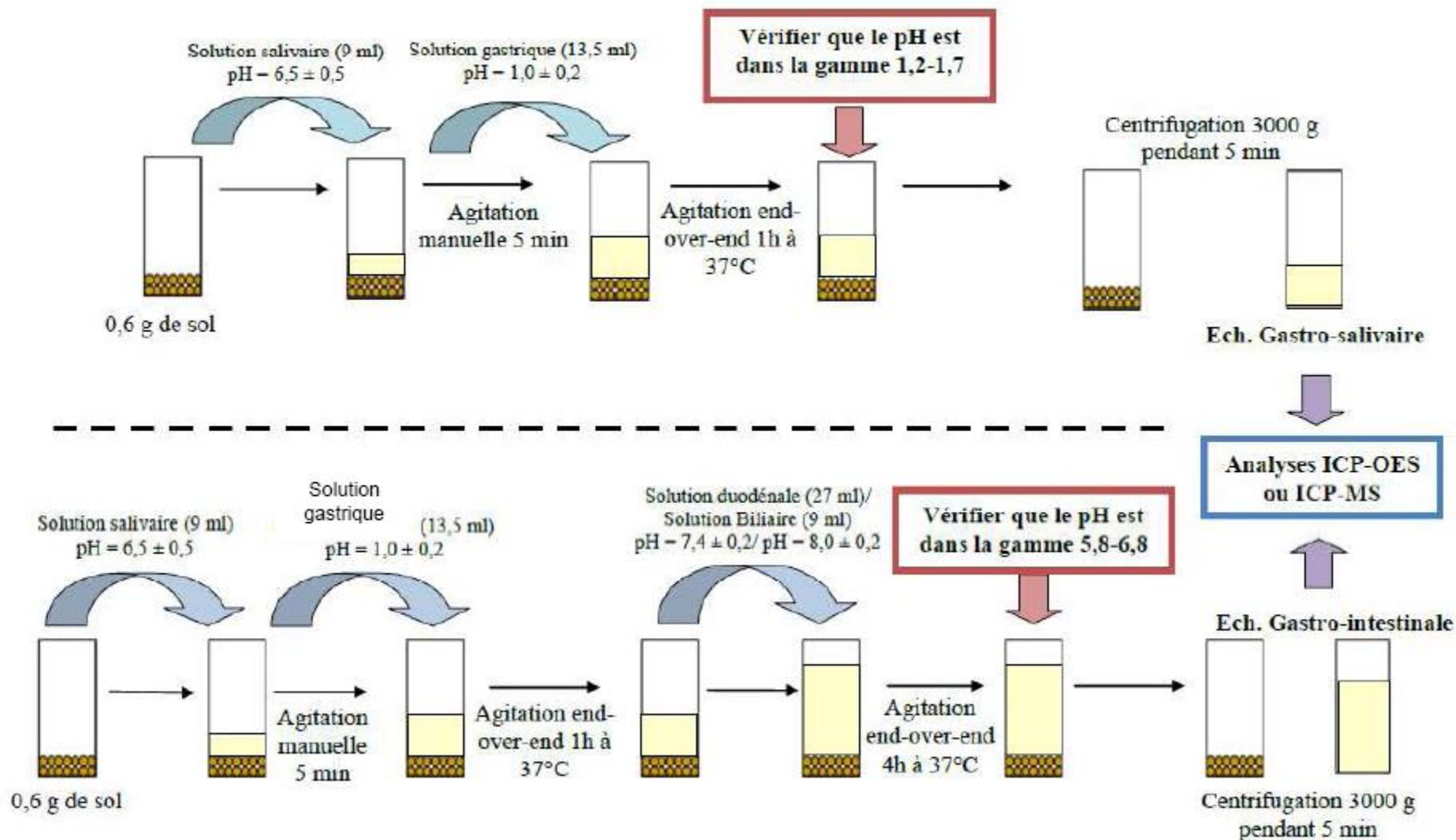
- la vitesse de mélange ou de brassage,
- le temps de digestion,
- la température,
- la présence d'aliments,
- le pH de digestion, nécessité d'un effet tampon,
- la taille des particules de sol,
- le rapport liquide/solide (rapport L/S),
- l'ajout de liquides digestifs,
- la digestion gastrique et intestinale requise,
- les conditions d'oxydo-réduction,
- le prétraitement de l'échantillon,
- le post-traitement de la solution d'essai.

En outre, l'essai doit remplir **les conditions fondamentales communes d'une méthode réglementaire**. La méthode doit être :

- **simple** (nombre d'étapes et d'opérations maintenu au minimum),
- **complète** (doit permettre, pour les besoins des essais, la sélection la plus large possible de contaminants, d'espèces et de sols),
- **précise** (le même résultat doit être obtenu lorsque le sol est testé **deux fois dans un seul laboratoire**),
- **reproductible** (le même résultat doit être obtenu lorsque le même sol est soumis aux essais dans **deux laboratoires différents**),
- **interprétable** (les résultats d'essai doivent être **corrélés avec des données de biodisponibilité in vivo**),
- **cohérente** (les résultats d'essai doivent être **conformes aux processus prévus grâce à la connaissance de la spéciation du contaminant et de la chimie du sol**).

Enfin, la norme précise qu'il « convient que l'essai comprenne le contrôle d'un matériau de référence approprié et bien décrit ».

Plusieurs essais sont disponibles – Parmi ceux-ci le test UBM (unified bioaccessibility method) – BARGE BioAvailability Research Group Europe (extrait de Caboche, 2009)



La mise en cohérence nécessite une étude approfondies de la spéciation des ETM

Guide technique « caractérisation de la mobilité des ETM dans la ZNS du sol »

Guide « Caractérisation de la mobilité des éléments traces minéraux dans la zone non saturée du sol : diagnostic du site »

CaPhéInE : CAractérisation des PHENomènes de transfert en zone INsaturée des Eléments traces

Mars 2012



- 1 -

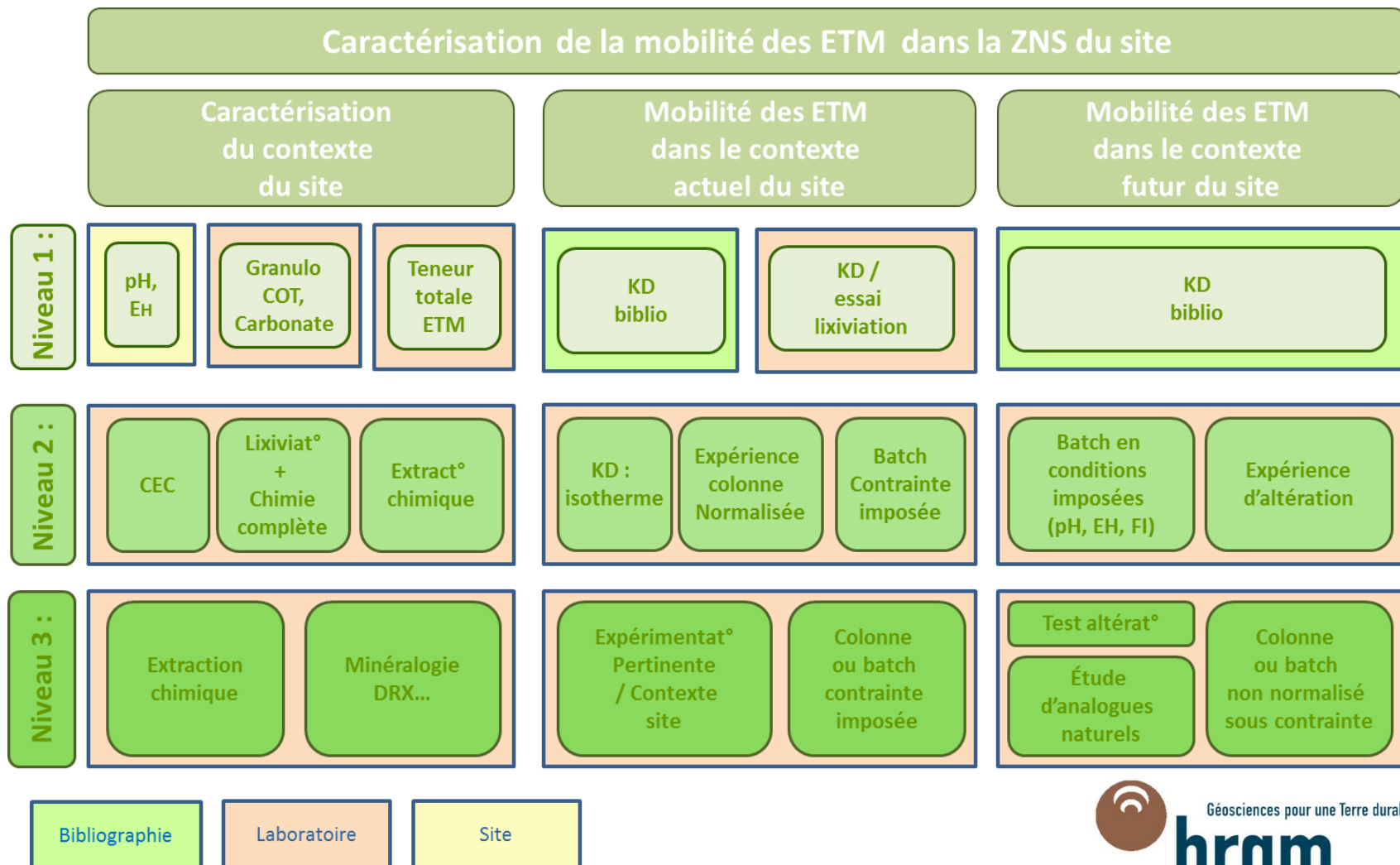
Divers guides sont disponibles.

Aucune méthode de détermination n'est suffisante à elle-seule.

Ces études peuvent donc demandés des investissements importants.



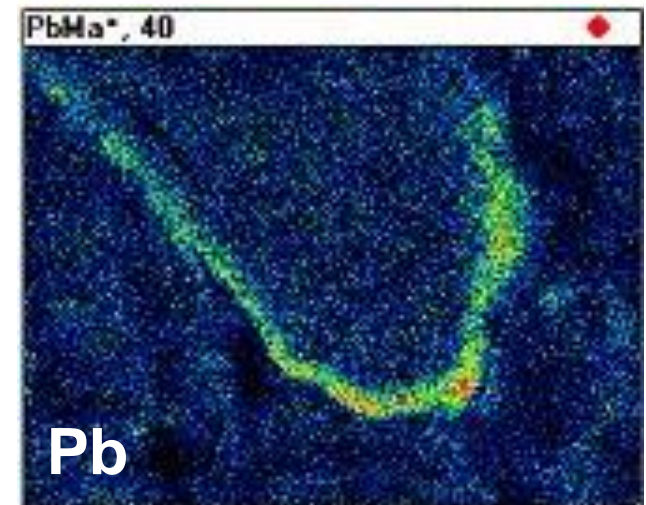
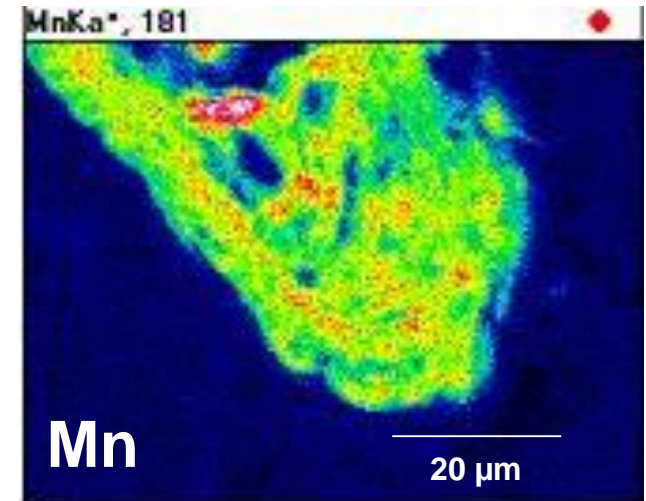
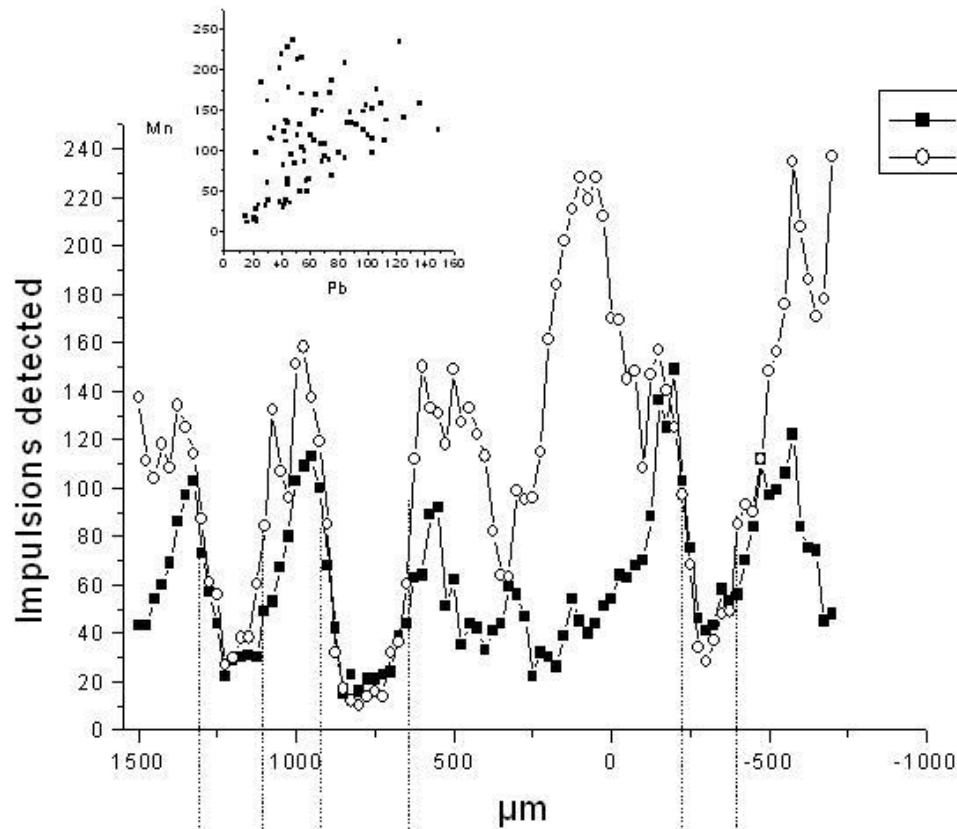
Exemple de caractérisation par niveau de la spéciation des ETM dans les sols (Guide CAPHEINE)



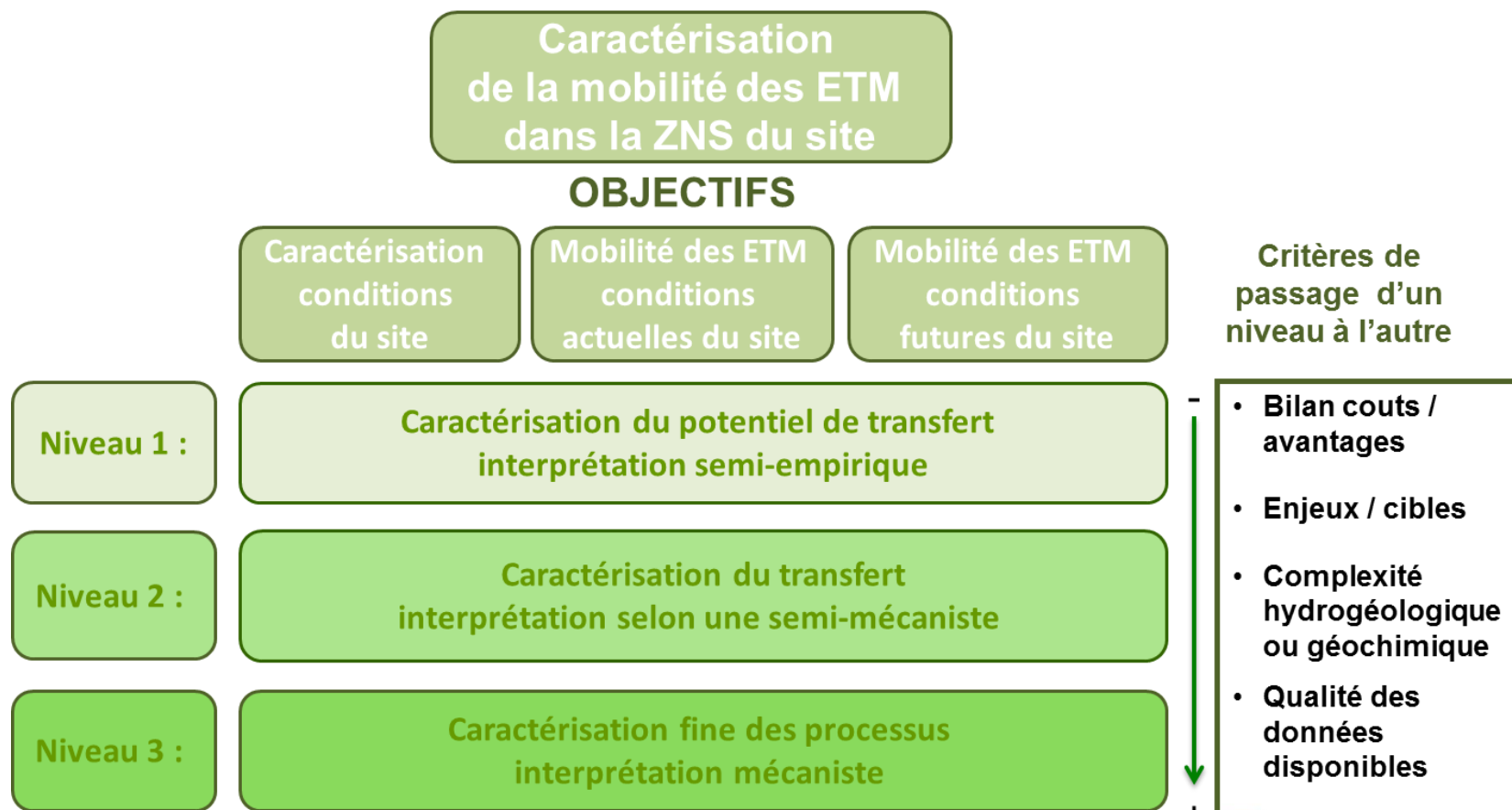
Géosciences pour une Terre durable

brgm

Exemple de spéciation multiple de Pb dans un sol



Les caractérisations à mener sont généralement de niveau 3 et peuvent faire appel à la modélisation mécanistique dans l'objectif de prédire une évolution temporelle



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Conclusion

Par conséquent, les études sont encore onéreuse : de l'ordre **de 100 à 150 k€** pour un site de grande étendue (plusieurs dizaines d'ha) mais avec une spéciation relativement homogène, comprenant:

- Etablissement du lien entre spéciation et bioaccessibilité pour les éléments traces d'intérêt,
- Prise en compte de l'âge des échantillons en vue d'anticiper une éventuelle évolution de cette bioaccessibilité au cours de l'altération,
- Prise en compte de l'incertitude,
- Hors diagnostic et étude de risque initiaux.

Conclusion :

- La détermination du caractère bioaccessible des contaminants du site peut permettre de faciliter sa gestion par l'usage,
- Sa caractérisation demande cependant une étude de spéciation spécifique complète,
- Des références manquent encore notamment pour valider la bioaccessibilité des contaminants organiques.