

## Diagnostics du radium - côté terrain



Claudio STALDER

Office fédéral de la santé publique, Berne



# Contenu

- Le diagnostic du radium à l'intérieur des bâtiments
- Le diagnostic du radium à l'extérieur des bâtiments
- Les mesures complémentaires / investigations détaillées
- Quelques exemples de cas

**Radium.** Bonne poseuse de radium demande du travail à domicile. — Offres par écrit sous initiales **Z. P.** 21414 au bureau de l'IMPARTIAL. 21414



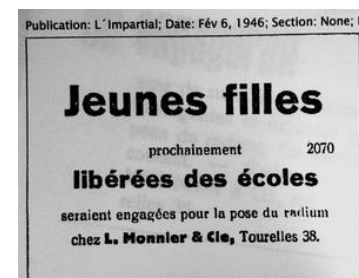
## Contexte

PA basé sur 4 piliers et adopté par le CF en Mai 2015:

- Recherche historique (Uni Bern)
- **Diagnostics de biens-fonds (Protection de la population)**
- **Assainissement** de biens-fonds affectés > 1mSv/an (Protection des travailleurs)
- **Surveillance de décharges** (Protection de l'environnement)



**Héritage radiologique => situation d'exposition existante (niveau de référence: 1 mSv/an)**





# Le diagnostic du radium

Quel est l'objectif visé?

- Déterminer si la population peut être exposée à  $> 1$  mSv/an

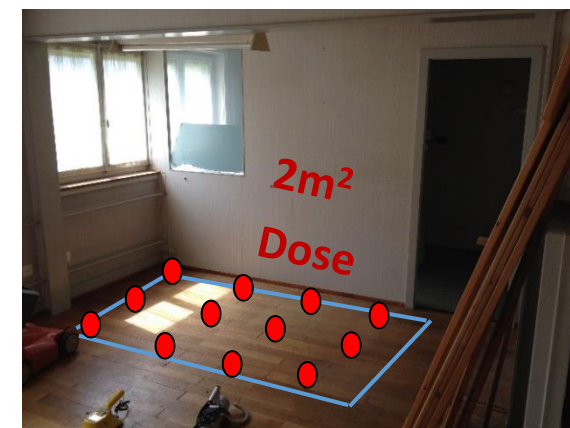
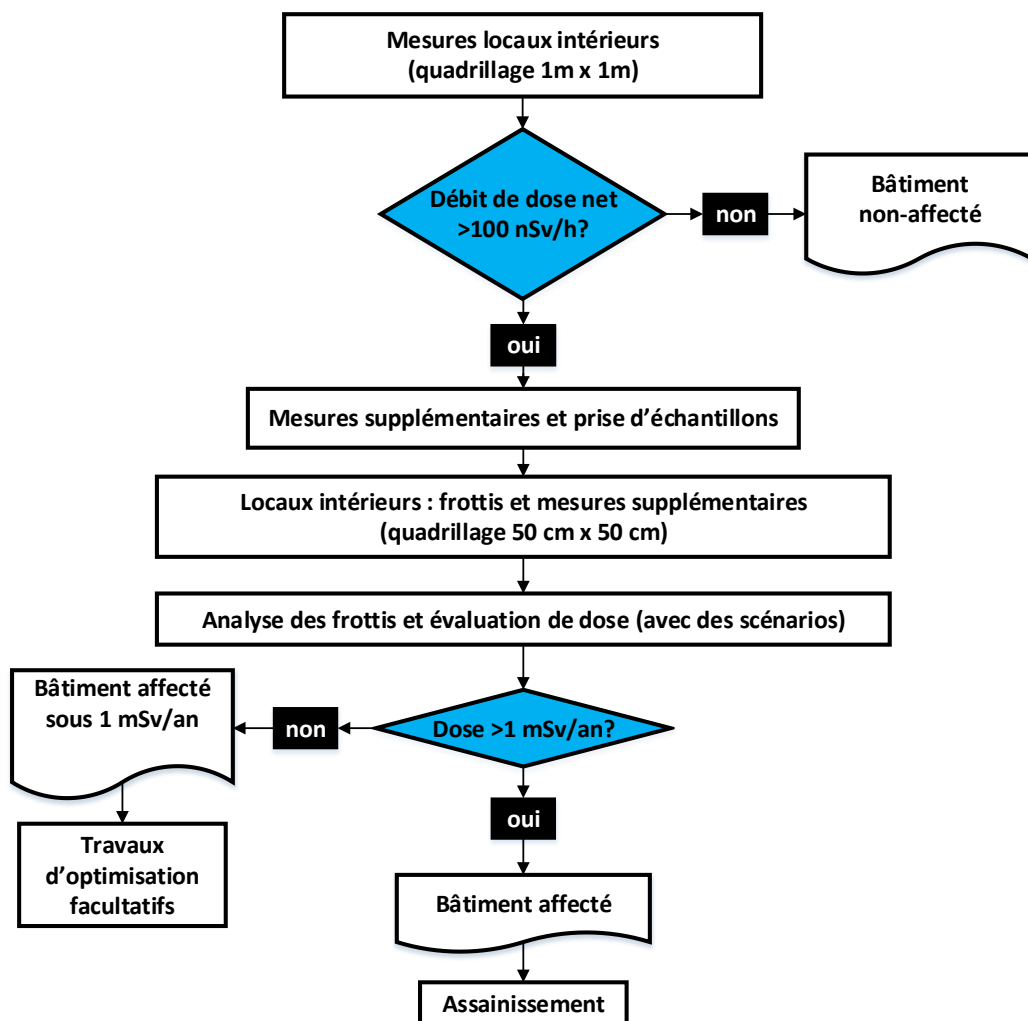
MAIS aussi

- Déterminer si un risque d'exposition existe pour les travailleurs lors de travaux de rénovation ou de démolition
- Protection de l'environnement (mobilité du Ra-226)

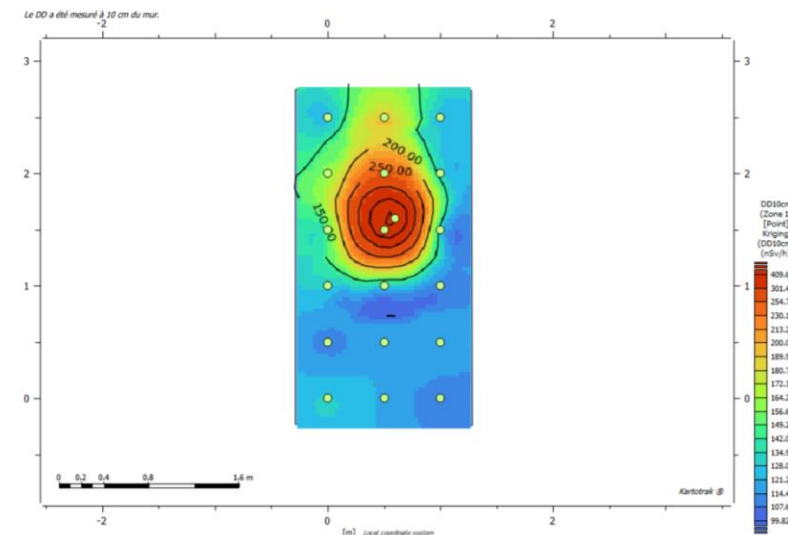
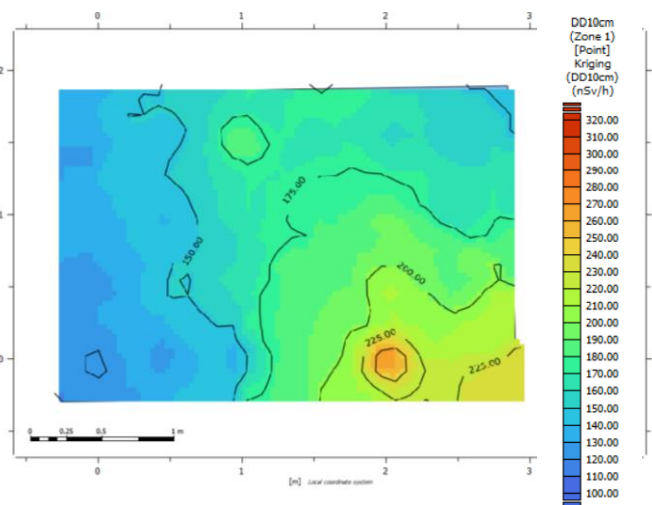
*Ra-226 horloger ou  
autre radionucléide  
(NORM)?*

Caractérisation radiologique des sites la plus exhaustive possible

# Le diagnostic du radium à l'intérieur des bâtiments



# Le diagnostic du radium à l'intérieur des bâtiments



Contrôler tous les éléments de construction d'époque (avant 1963) qui étaient:

- ✓ Fréquemment touchés/manipulés (portes, poignées, volets/stores, interrupteurs...)
- ✓ Utilisés pour entreposer les cadres à sécher (radiateurs, tablettes de fenêtre)
- ✓ Pouvaient accumuler/aspirer la poussière (sols avec isolation, pompes à vide)
- ✓ Utilisés pour brûler les déchets (poêles, canal de cheminée)
- ✓ Utilisés pour nettoyer l'outillage (évier, conduites, canalisations)



# Mesures complémentaires réalisées à l'intérieur des bâtiments

- ✓ S'assurer qu'aucun autre polluant du bâtiment ne soit présent dans la zone à dépolluer (amiante/PCB/HAP/peinture au Pb)
- ✓ Etablir une stratégie de dépollution (choix des EPI et EPC)
- ✓ Gestion des déchets (ORaP vs OLED)
- ✓ Qualité de l'air intérieur (Radon/aérosols/VDI)

## Rapport d'analyse : 190308\_Doubs75

Les analyses d'échantillons par microscope optique à lumière polarisée selon la norme MDHS 77 (Methods for the determination of hazardous substances 77. Asbestos in bulk materials. Sampling and identification by polarised light microscopy. Sheffield, HSE, June 1994), avec optimisation du traitement des échantillons, méthode accréditée ISO/CEI 17025, ont donné les résultats suivants :

Echantillon : Doubs75_1 O.E Cuisine NO carrelage sol	<b>Amiante décelé.</b> (Chrysotile, en traces)
Echantillon : Doubs75_2 O.E Cuisine NO faïence mur	<b>Amiante non décelé.</b>
Echantillon : Doubs75_3 O.E Salle de bain E faïence mur	<b>Amiante non décelé.</b>



En cas d'assainissement radiologique!

## Analysebericht : PAK

Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe [PAK]  
Methode: DIN EN 15527, Angaben in mg/kg TS

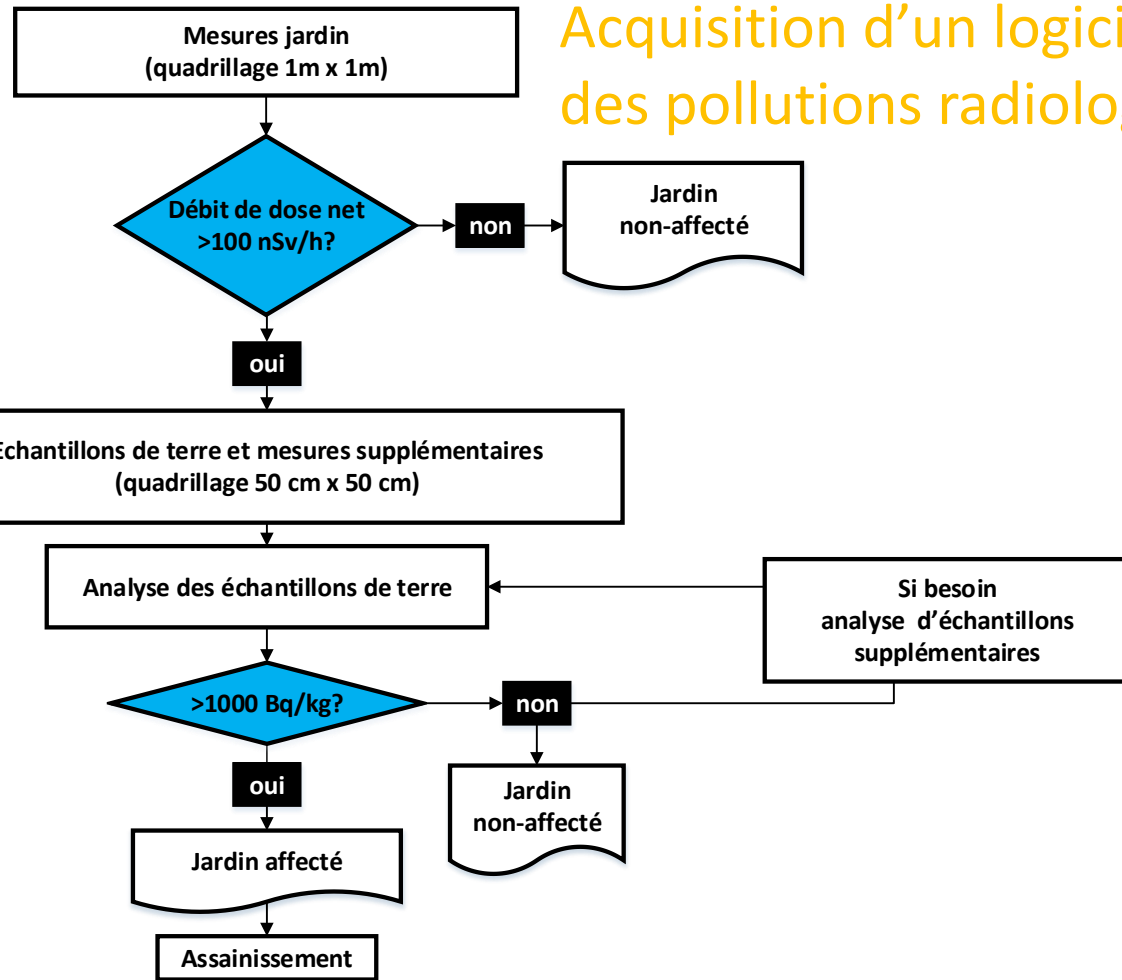
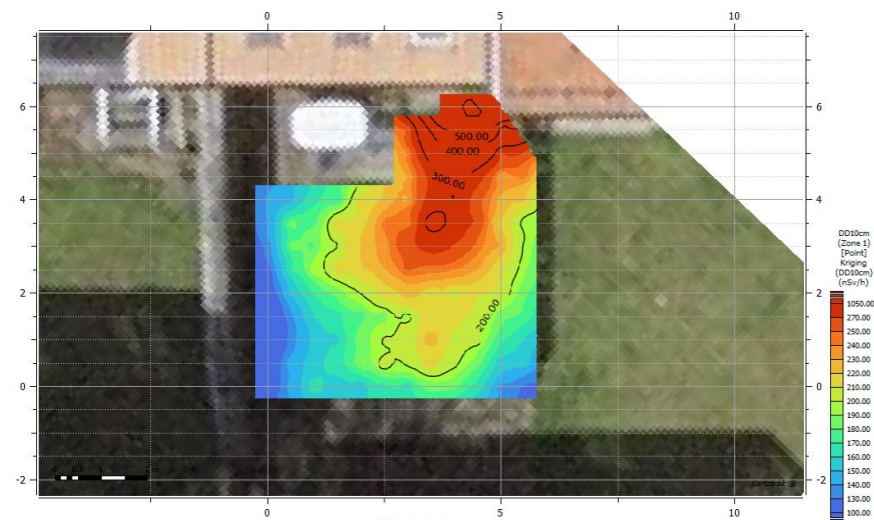
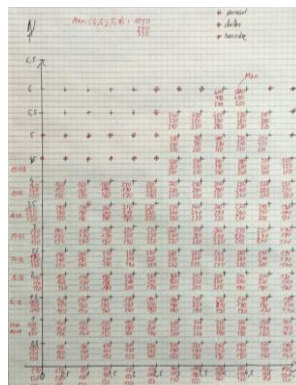
Kundenref.:	1	
Bezeichnung:	H2 Berger	
Laborreferenz:	18-11-14-002-HAP	
Produkt	BG	Wert
Naphthalin	2	5
Acenaphthylen	4	5
Acenaphthen	2	230
Fluoren	2	94
Phenanthren	2	2 900
Anthracen	2	760
Fluoranthren	2	6 600
Pyren	2	5 500
Benz(a)anthracen	2	4 700
Chrysen	2	4 600
Benzo(b)fluoranthren	2	4 900
Benzo(k)fluoranthren	2	2 200
Benzo(a)pyren	2	3 600
Dibenzo(a,h)anthracen	2	520
Benzo(g,h,i)perylene	2	1 800
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	2	2 200
Summe PAK	40 614	



# Le diagnostic du radium à l'extérieur des bâtiments

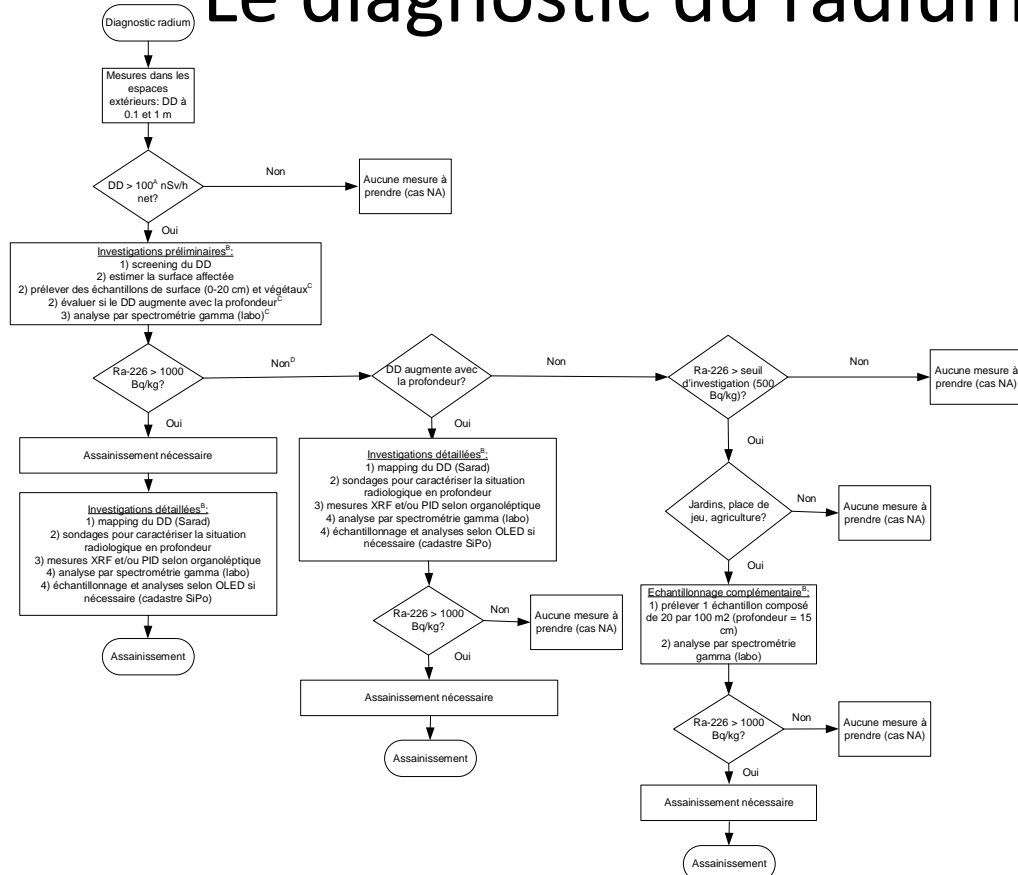
Acquisition d'un logiciel GIS spécialisé dans la cartographie 2D et 3D des pollutions radiologiques/chimiques

- ✓ Traitement des données permettant une visualisation claire de la pollution en 2D et 3D ainsi qu'une bonne compréhension de des mécanismes à l'origine de la pollution
- ✓ Optimisation des dépollutions (calculs de volume des déchets, traitement des hotspots, gestion des coûts)





# Le diagnostic du radium à l'extérieur des bâtiments



- ✓ Investigations détaillées (> 1000 Bq/kg Ra-226)
- ✓ Echantillonnage complémentaire (potagers/jardins privatifs/agriculture -> 500-999 Bq/kg Ra-226)

Dispositif	Exécution	Avantages	Inconvénients
Répartition aléatoire	Répartition des points de prélèvement au moyen de chapitres tirés au sort, à l'exclusion de toute autre connaissance technique	- Seule méthode objective - Probabilité de prélèvement égale en tout point - Erreur systématique faible	- Grand nombre d'échantillons nécessaires - Exécution coûteuse - Répartition non proportionnelle aux surfaces
Répartition systématique	Répartition des points de prélèvement suivant un dispositif régulier: <ul style="list-style-type: none"><li>- maille carrée</li><li>- maille rectangulaire</li><li>- maille triangulaire</li></ul>	- Peu coûteux - Nombre d'échantillons limité - Meilleure couverture par grille à maille triangulaire - Répartition uniforme des points de prélèvement - Répartition proportionnelle aux surfaces	- Une grille de taille inappropriée peut conduire à des erreurs systématiques - Le risque à maille triangulaire est coûteux
Répartition ciblée	Répartition des points de prélèvement sur la base des connaissances techniques et d'une analyse de plausibilité (hypothèses de travail): <ul style="list-style-type: none"><li>- source ponctuelle: grille polaire</li><li>- source linéaire: transect</li><li>- autres sources selon hypothèses de travail</li><li>- densification des points de prélèvement près de la source de pollution</li></ul>	- Nombre d'échantillons le plus faible - Prise en compte des hypothèses faites au sujet de la pollution	- Très grande sensibilité aux erreurs systématiques, au cas où les hypothèses faites au sujet de la pollution ne se vérifient pas - Suppose une enquête préalable poussée
Dispositif stratifié (ou dirigé)	Subdivision en surfaces partielles homogènes, répartition du nombre des points de prélèvement proportionnellement aux surfaces considérées (répartition aléatoire, systématique ou ciblée dans chaque surface partielle)	Prise en compte des hypothèses faites au sujet de la pollution	- Sensibilité aux erreurs systématiques, au cas où les hypothèses faites au sujet de la pollution ne se vérifient pas - Suppose une enquête préalable poussée
Dispositif systématique renforcé	Répartition systématique des points de prélèvement, avec concentration locale suivant un schéma prédéterminé (aléatoire ou systématique)	- Hétérogénéité reconnue à plusieurs niveaux spatiaux - Bien adapté à une mise en valeur géostatistique (avec un grand nombre d'échantillons)	- Grand nombre d'échantillons nécessaires - Exécution coûteuse

Sources: Borgman et Quimby (1988), Dalton et al. (1975), Harvey (1973), ISO (1956a), Keith (1990), Lepretre et Martin (1994), Nothbaum et al. (1994), Rado et Vidal (1995), Woede (1999).

<sup>a</sup> La prise d'échantillons peut être justifiée même si le DD < 100 nSv/h net

<sup>b</sup> Echantillonnage selon guide de l'échantillonnage dans le cadre du PA radium

<sup>c</sup> Des échantillons de surface ne sont prélevés que si la surface du sol est végétalisée et/ou pourvue de matériaux meubles (terre, sable). Si la surface du sol est pourvue d'un revêtement en dur (enrobé bitumineux, béton), aucun échantillon n'est prélevé. L'évaluation du risque basée sur l'exposition et l'impact sur l'environnement (pollution de la nappe phréatique) déterminera si des investigations détaillées sont justifiées.

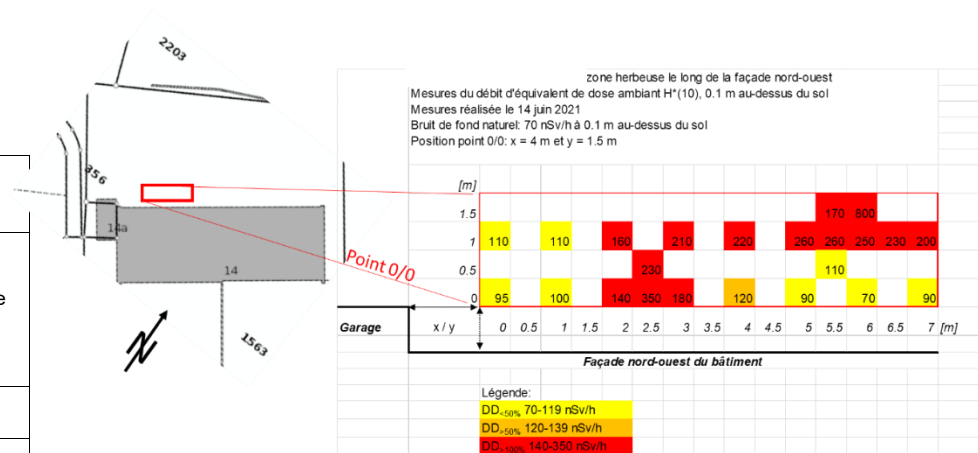
<sup>d</sup> Préparation de l'échantillon d'après la norme ISO 18589-2:2007 et mesure par spectrométrie gamma

# Les investigations détaillées (radiologiques / chimiques)

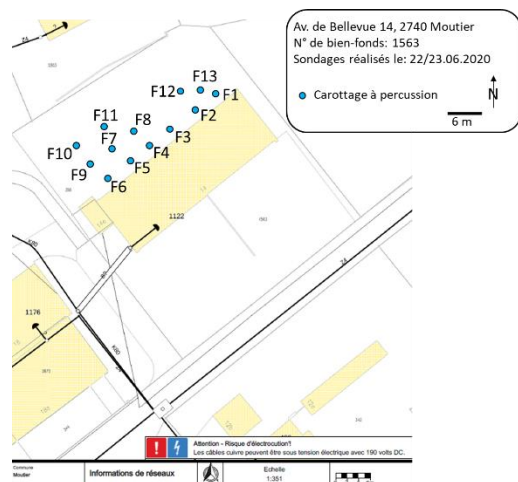
- ✓ Recherche historique sur le site à investiguer
- ✓ Déterminer les polluants chimiques et radiologiques (p ex. Sr-90) susceptibles de se trouver dans le sol/sous-sol
- ✓ Les zones à investiguer se limitent uniquement aux zones affectées par le Ra-226
- ✓ Définir un plan hygiène et sécurité (PHS) pour l'échantillonnage

En cas d'assainissement radiologique!

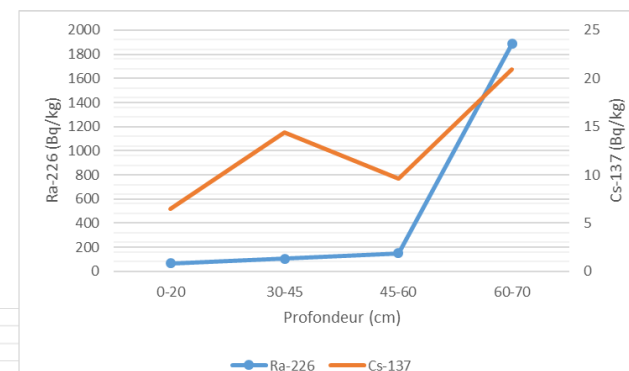
Activité/Événement pouvant entraîner une pollution	Durée	Utilisation de substances polluantes	Quantité de polluants	Zones affectées	Remarques
Galvanoplastie, lavage et polissage (époque SWIZA)	1948-1969	<ul style="list-style-type: none"> <li>HCC, HC C5-C10 et BTEX</li> <li>Métaux lourds y.c. Hg</li> <li>Cyanures totaux</li> <li>HAP</li> <li>HC C10-C40</li> </ul>	NA	NA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction du bâtiment en 1948</li> <li>Mise en terre d'une citerne de mazout de 15'000 l au NE en 1949</li> </ul>
Mécanique, décolletage (époque Bechler SA)	1969-1979	<ul style="list-style-type: none"> <li>HCC et BTEX</li> </ul>			
Décolletage, fraisage (époque Salzmann SA)	1979-1989	<ul style="list-style-type: none"> <li>HCC et BTEX</li> <li>Huiles de coupe (HC C10-C40)</li> </ul>	NA	NA	
Mécanique, lavage, décolletage, fraisage (époque VNSA)	1989-1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>Huiles de coupe (HC C10-C40)</li> <li>Métaux lourds</li> <li>PCB (additifs pour huiles de coupe)</li> </ul>	NA	NA	



# Les investigations détaillées (radiologiques / chimiques)



ID Echantillon	Profondeur (cm)	Activité Ra-226 (Bq/kg)	Remarques
B14-F1-1	0-15	3098 ±118	Cs-137 : 25.2 Bq/kg ±3.4; terre noirâtre, résidus d'incinération, métal, déchets de chantier
B14-F1-2	55-65	81 ±21	Cs-137 : < LD; marneux avec roches altérées, couleur brun-vert olive
B14-F2-1	0-15	194 ±13	Cs-137 : 25.1 Bq/kg ±1.1; terre avec graviers anguleux, déchets de chantier y.c. enrobé bitumineux, mâchefers ?
B14-F2-2	15-30	151 ±7	Cs-137 : 12.1 Bq/kg ±0.4; terre avec graviers anguleux, déchets de chantier y.c. enrobé bitumineux, mâchefers ?
B14-F3-1	0-15	47 ±8	Cs-137 : 7 Bq/kg ±0.5; terre, marneux et présence de graviers anguleux
B14-F3-2	50-90	53 ±6	Cs-137 : 6.14 Bq/kg ±0.6; marneux avec sables et graviers, verre, déchets de chantier, résidus d'incinération
B14-F4-1	0-15	290 ±10	Cs-137 : 3.4 Bq/kg ±0.4; terre, marneux, déchets de chantier
B14-F5-1	0-15	2680 ±120	Cs-137 : 11.4 ±2.9; terre avec graviers, verre, résidus d'incinération
B14-F5-2	15-30	7130 ±224	Cs-137 : <LD; terre avec graviers, résidus d'incinération et couche de compaction (gravats) à 20-20 cm
B14-F6-1	0-15	311 ±11	Cs-137 : 15.7 Bq/kg ±0.5; terre, couche de compaction à 10-20 cm (gravats)
B14-F7-1	10-20	68 ±27	Cs-137 : 6.5 Bq/kg ±1.9; terre localement argileux, couche de compaction (chaille) à 17-30 cm
B14-F7-2	30-45	106 ±34	Cs-137 : 14.4 Bq/kg ±3.5; sableux, noirâtre, résidus d'incinération, métal, verre et déchets de chantier
B14-F7-3	45-60	149 ±8	Cs-137 : 9.6 Bq/kg ±0.4; sableux, noirâtre, résidus d'incinération, métal, verre et déchets de chantier
B14-F7-4	60-70	1887 ±87	Cs-137 : 20.9 Bq/kg ±3.7; sableux, horizon



Adresse d'échantillonnage:  
Date d'échantillonnage:  
Prélèvement(s) effectué(s) par:  
Nombre et localisation des prélèvements:

Probe ID	Description	Echantillon(s)										Résultats en mg/kg MS							
		Cr (total)	Cr VI	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Hg	Cd	Sb								
B14-1-O	Terre avec déchets de chantier, profondeur: 20-30 cm	83	<0.3	58	1400	1200	6.9	130	0.048	8.2	3.1								
B14-2-O	Terre avec déchets de chantier, profondeur: 5-10 cm	36	<0.3	41	3400	1400	7.6	100	0.025	14	1.5								
B14-3-O	Terre avec déchets de chantier, profondeur: 15-20 cm	58	<0.3	67	1400	1500	9.3	100	0.059	6.6	2.2								
B14-4-O	Terre avec déchets de chantier, profondeur: 20-30 cm	70	0.25571	48	390	1000	5.1	95	0.041	25	1.1								
B14-5-O	Terre avec déchets de chantier, profondeur: 20-30 cm	65	<0.3	44	250	410	6.7	45	0.045	6.7	<1								
B14-6-O	Terre avec déchets de chantier, profondeur: 30-40 cm	100	<0.3	59	230	360	8.8	37	0.039	5.1	<1								
Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED)																			
Valeurs limites U dépassées -> valorisation		50	0.05	50	40	150	15	50	0.5	1	3								
Valeurs limites T dépassées -> mise en décharge inerte (type B)		250	0.05	250	250	500	15	250	1	5	15								
Valeurs limites matériaux inertes dépassées -> mise en décharge bioactive (type E)		500	0.1	500	500	1000	30	500	2	10	30								
Valeurs limites matériaux bioactifs dépassées -> déchets spéciaux (cf. traitement)		1000	0.5	1000	5000	5000	50	2000	10	10	50								

Zone à dépolluer	Volume total en m3 (y.c. coefficient de foisonnement Cf = 1.2)	Qualité selon OLED	Qualité des matériaux d'excavation selon ORaP		
			Volume déchets radioactifs (PSI) en L	Volume déchets faiblement pollués (type E) en m3	Volume déchets conventionnels (type A ou B) en m3
B14-Z1	8	Peu pollué à pollué	30	8	0
B14-Z2	9	Pollué à fortement pollué avec dépassement des valeurs maximales admissibles en décharge type E (environ 1.5-2 m3 de déchets spéciaux)	30	9 <sup>a</sup>	0
B14-Z3	9	A définir	0	9 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Total	27		60	27	0

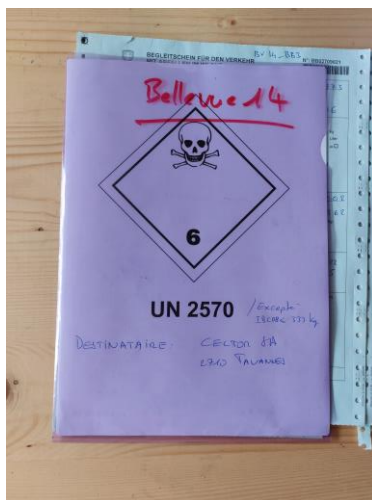
Caractérisation radiologique des sites la plus exhaustive possible



# Les investigations détaillées (radiologiques / chimiques)

Zone à dépolluer	Volume total en m3 (y.c. coefficient de foisonnement Cf = 1.2)	Qualité selon OLED	Qualité des matériaux d'excavation selon ORaP		
			Volume déchets radioactifs (PSI) en L	Volume déchets faiblement pollués (type E) en m3	Volume déchets conventionnels (type A ou B) en m3
B14-Z1	8	Peu pollué à pollué	30	8	0
B14-Z2	9	Pollué à fortement pollué avec dépassement des valeurs maximales admissibles en décharge type E (environ 1.5-2 m <sup>3</sup> de déchets spéciaux)	30	9 <sup>B</sup>	0
B14-Z3	9	A définir	0	9 <sup>A</sup>	0 <sup>A</sup>
Total	27		60	27	0

Cd: 80 mg/kg MS



# Les investigations détaillées (radiologiques / chimiques)

- ✓ Déterminer les concentrations de Ra-226 en surface et en profondeur (Carottages)
- ✓ Identifier les hotspots
- ✓ Bien-fonds inscrit au cadastre des sites pollués?
- ✓ Identifier les polluants chimiques présents dans la/les zone(s) affectées par le Ra-226 (Osites/OSol/OLED)
- ✓ Concept de dépollution avec plan de gestion des déchets (ORaP/Osites/OLED)

En cas  
d'assainissement  
radiologique!



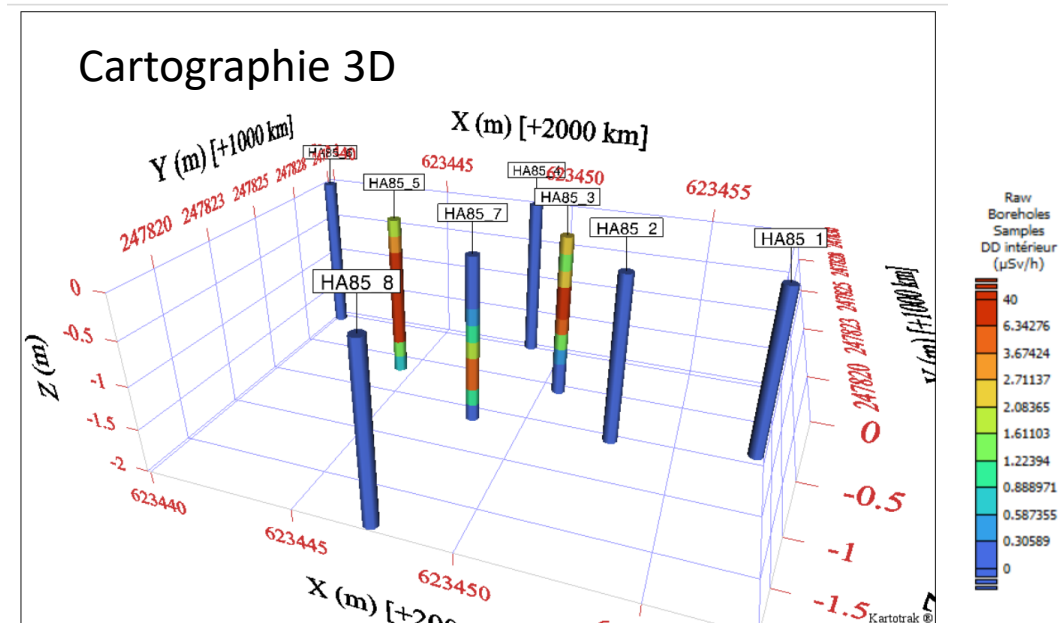
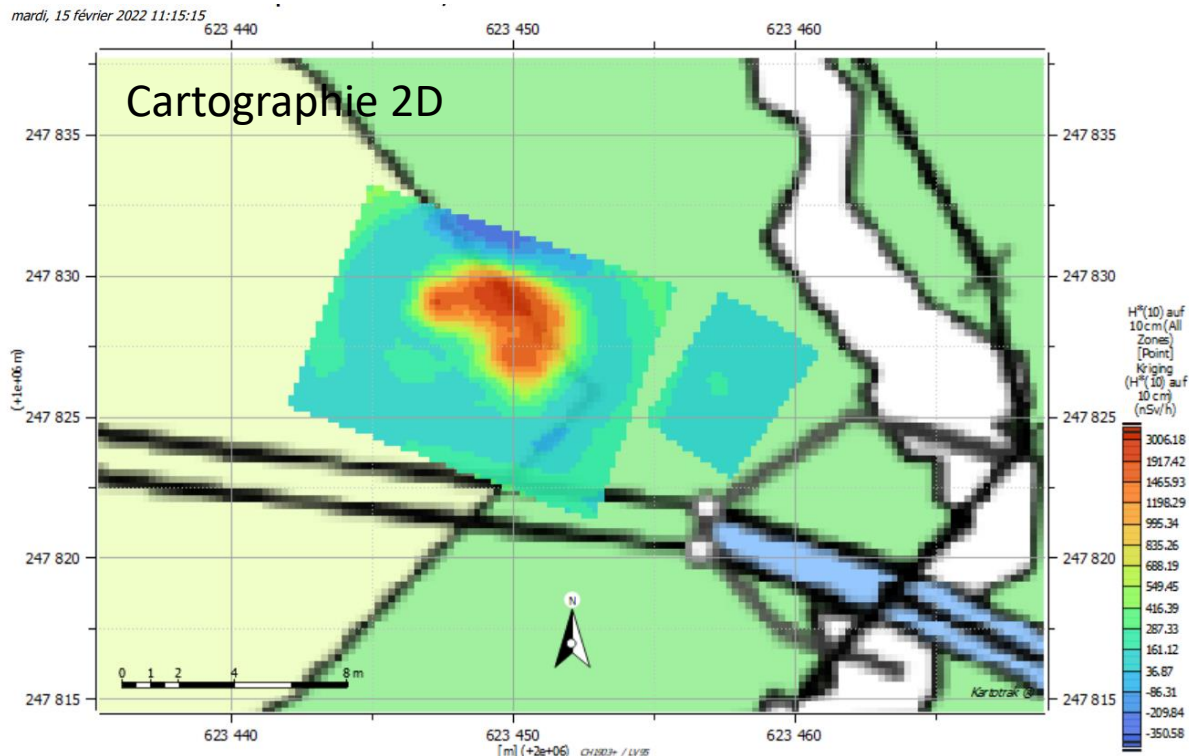
Probe	w(V) / mg/kg	w(Cr) / mg/kg	w(Mn) / mg/kg	w(Co) / mg/kg	w(Ni) / mg/kg	w(Cu) / mg/kg	w(Zn) / mg/kg	w(As) / mg/kg	w(Mo) / mg/kg	w(Cd) / mg/kg	w(Sb) / mg/kg	w(Tl) / mg/kg	w(Pb) / mg/kg	w(U) / mg/kg	w(Hg) / µg/kg
B_P17_3_#1	24	59	560	16	860	36000	22000	140	2.3	10	42	<1	3100	<1	370
B_P17_5_#3	110	68	680	22	160	5200	3300	26	3.6	2.6	8.2	<1	1200	2.4	2300
B_P17_6_#1	83	60	350	20	270	12000	6300	46	4.0	3.5	20	<1	3200	2.1	1300
TA107_SS1_#1	83	80	77	16	47	200	600	24	1.5	<1	10	<1	640	2.7	460
TA107_SS1_#4	55	52	680	11	32	120	300	18	<2	<2	7.8	<2	320	<2	320
HA85_SS01	40	330	450	34	170	4700	4000	14	22	10	44	<1	1000	<1	2900
HA85_SS02	28	210	340	22	170	4500	3300	13	17	8.1	16	<1	1000	<1	5500
HA85_SS03	19	42	140	3.9	14	230	210	4.8	1.5	<1	4.3	<1	150	<1	44
HA85_SS04	16	19	120	2.5	10	99	120	4.3	<1	<1	<1	<1	48	<1	50



Caractérisation radiologique des sites la plus exhaustive possible



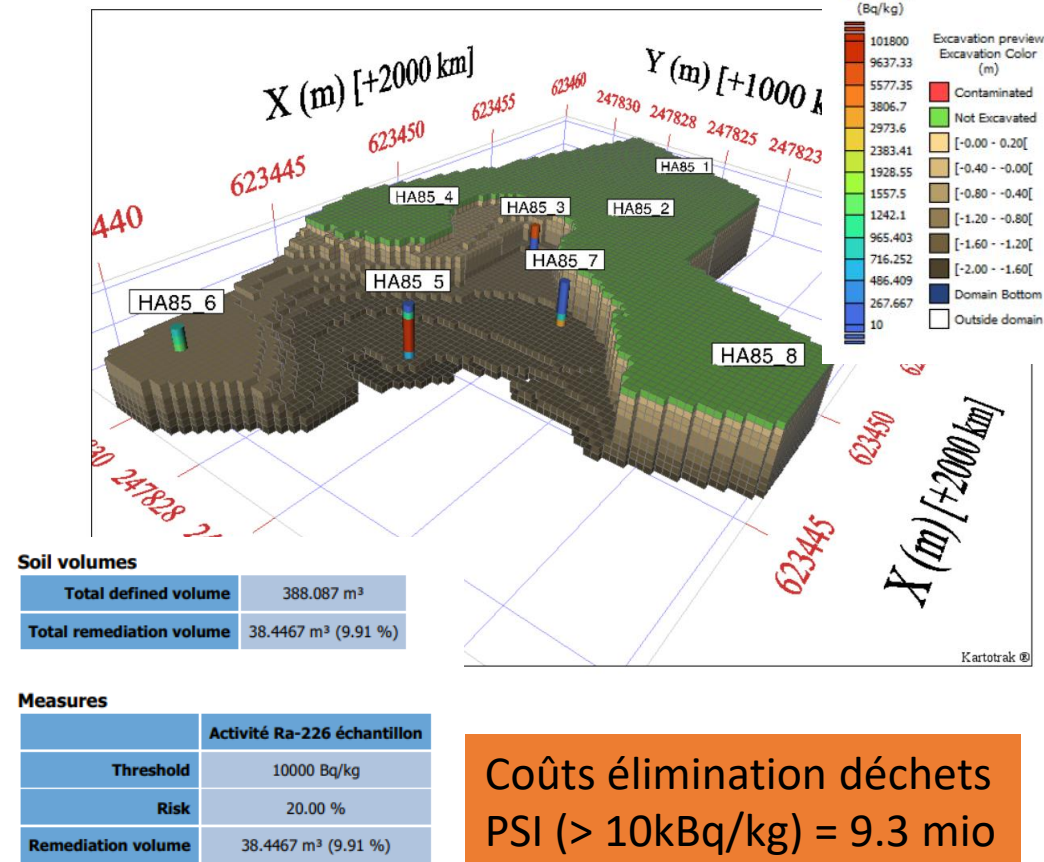
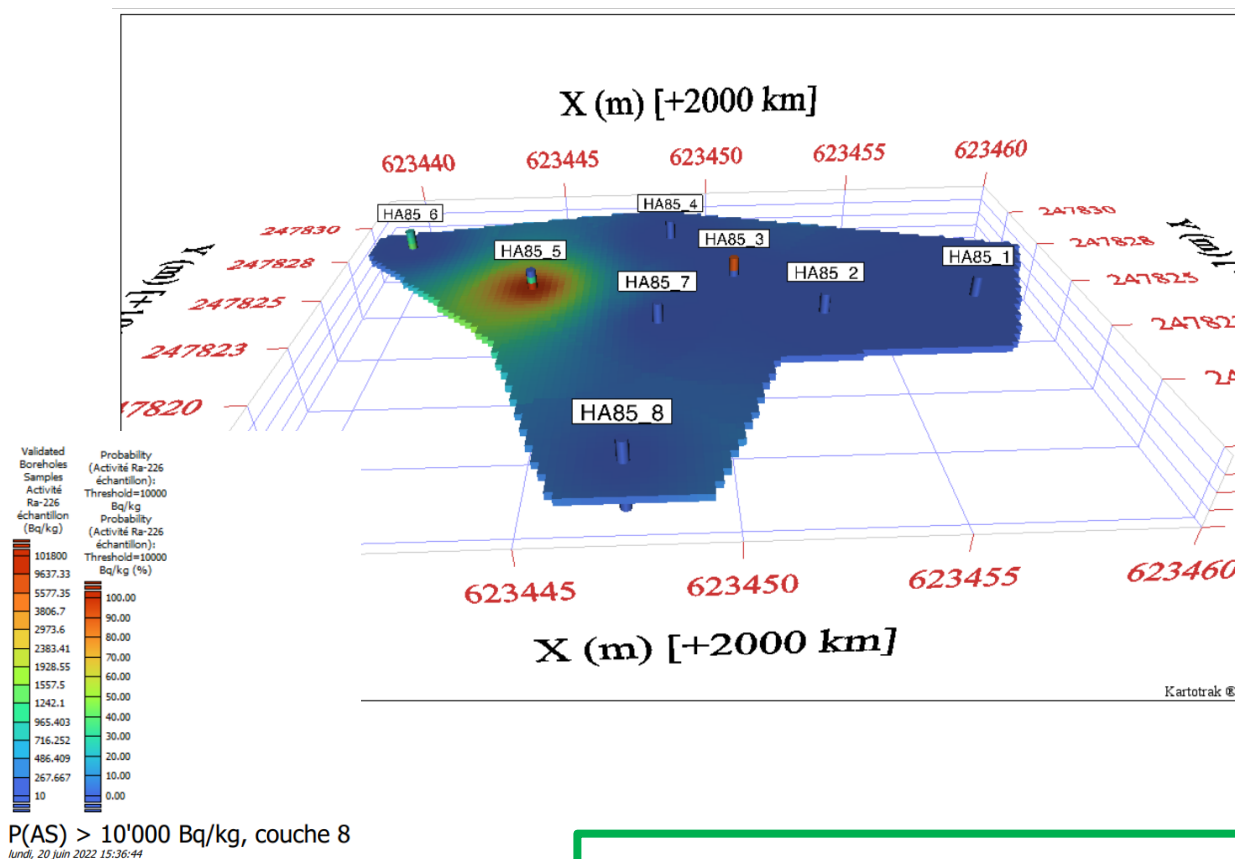
# Les investigations détaillées (radiologiques / chimiques)



Caractérisation radiologique des sites la plus exhaustive possible



# Les investigations détaillées (radiologiques / chimiques)



Coûts élimination déchets  
PSI (> 10kBq/kg) = 9.3 mio

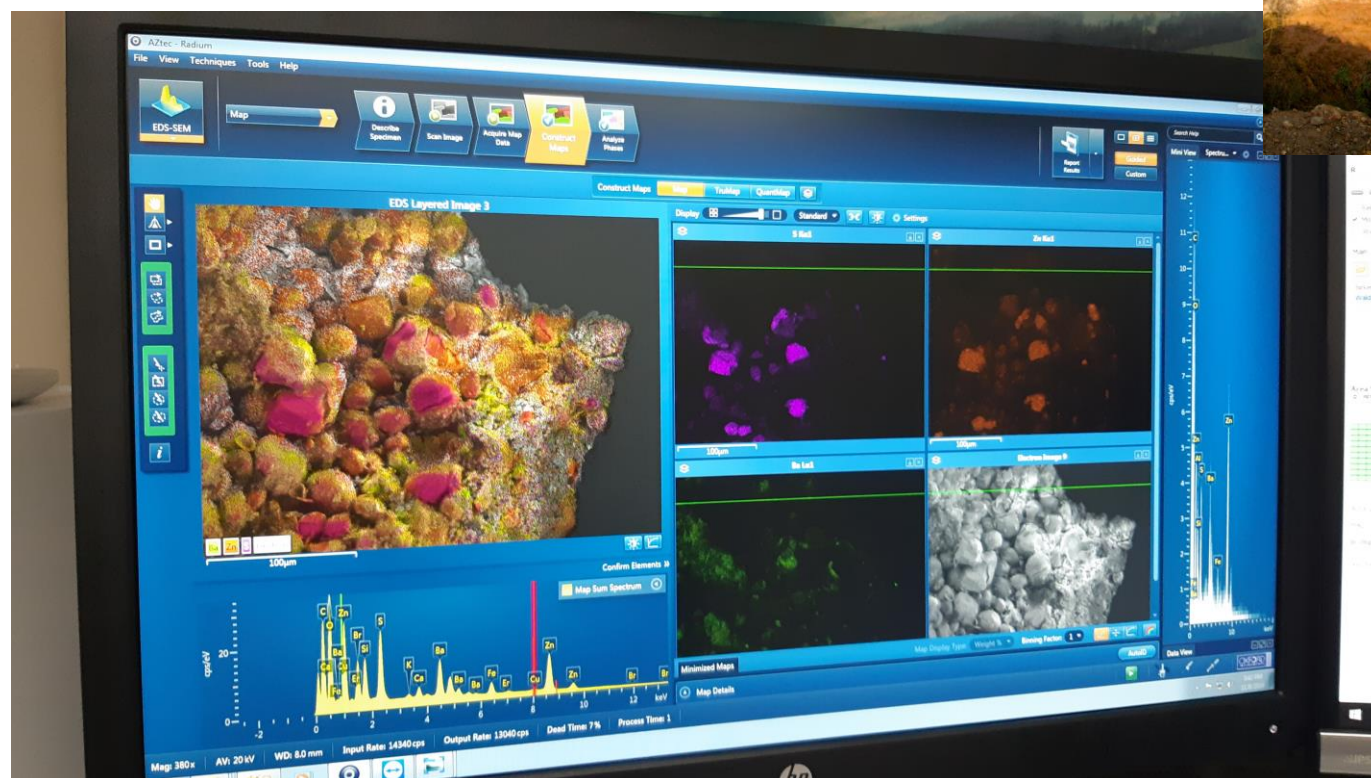
Caractérisation radiologique des sites la plus exhaustive possible



# Conclusion

- ❑ Le diagnostic du radium doit permettre de définir si la population peut être exposée à une dose efficace supérieure à 1 mSv/an
- ❑ Le diagnostic du radium doit aussi permettre de **documenter les traces de radium** présentes sur site (intérieur et extérieur), ne nécessitant dans l'état pas de mesures correctives, mais qui peuvent conduire à une exposition de la population et de l'environnement lors de travaux futurs
- ❑ Pour les cas complexes (p. ex. cadastre des sites pollués) des **mesures complémentaires** peuvent être organisées en accord avec le canton
- ❑ Une caractérisation radiologique (et chimique si nécessaire) détaillée est la base pour l'élaboration du concept de dépollution, un travail sans risques (plan hygiène et sécurité) et un élimination conforme des déchets produits (plan de gestion des déchets)

# Merci pour votre attention



Analyse de peinture luminescente au radium Ra-226 par spectrométrie à rayons X à dispersion d'énergie SEM-EDS (UNIFR)