

# ECOPOLIS

**intersol'2022**

Congrès-Exposition International sur les Sols, les Sédiments et l'Eau  
International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water

21<sup>e</sup>  
Edition

## Caractérisation des risques sanitaires et environnementaux dans le cadre de la remédiation d'une friche industrielle par le phytomanagement : projet ECOPOLIS

[benjamin.pauget@tesora.fr](mailto:benjamin.pauget@tesora.fr)

# Le projet Ecopolis





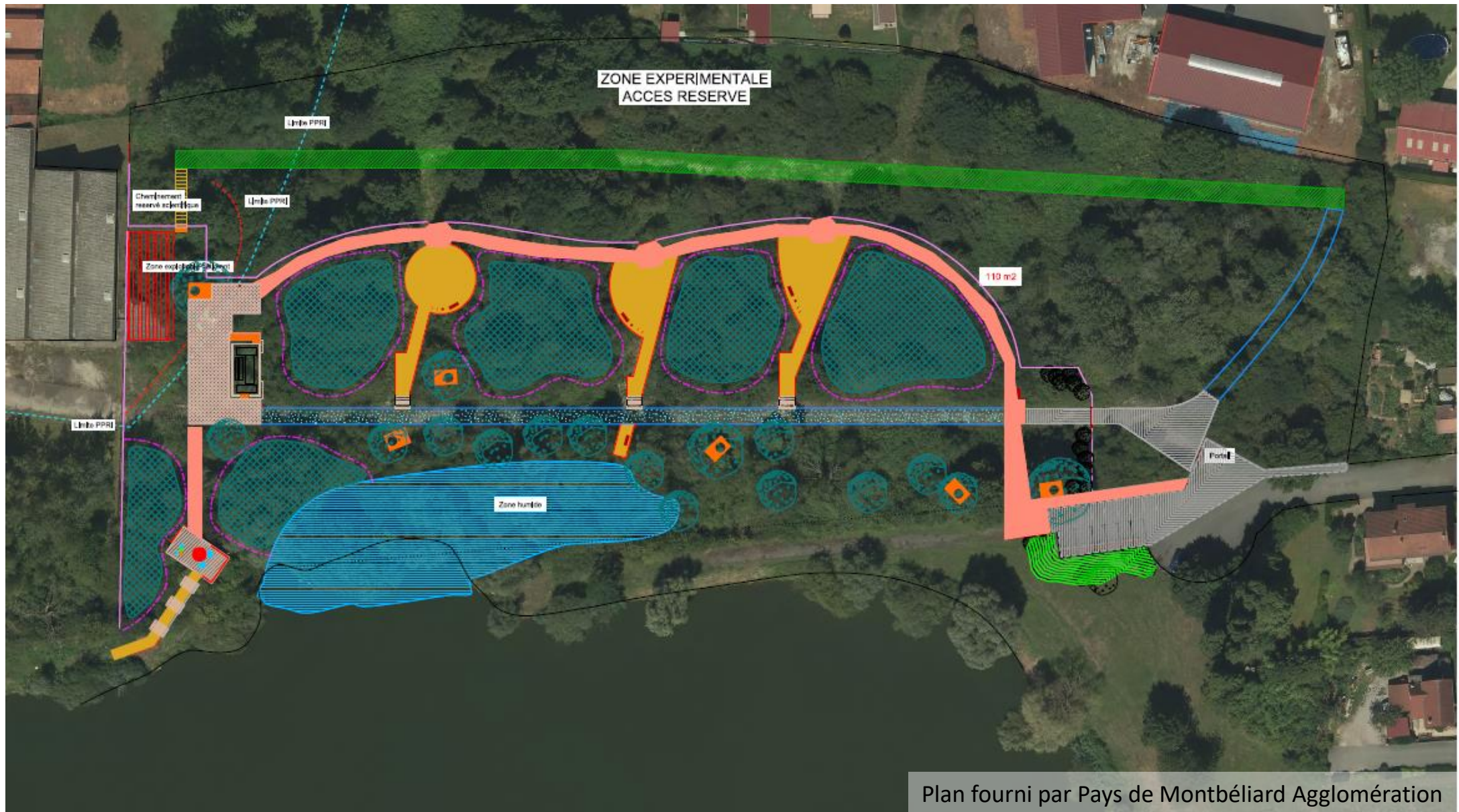
# Contexte du site



- **1871** : activité d'horlogerie
- **1903** : fabrication de pièces mécaniques et de traitement thermique des métaux
- **1963** : fabrication de pièces de précision trempées et de pièces de tôlerie
- **2007** : liquidation judiciaire
- **2020** : rachat par PMA et volonté de création d'un living Lab et projet ECOPOLIS



# Contexte du site : plan d'aménagement initial



# Les risques sanitaires : Point de départ

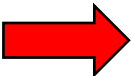
Calculs de risques effectués à partir des concentrations maximales (ETM) dans les sols de la friches (hors secteurs destinés à la recherche scientifique, plan d'aménagement initial)

Source	Substances	max. C <sub>(sol)</sub> (mg/kg MS)	Origine de la donnée
Sols de surface	Antimoine (Sb)	46,20	S14 (0-0,3 m)
	Arsenic (As)	54,3	PM4 (0,1-0,85 m)
	Cadmium (Cd)	2,4	S13 (0-0,3 m)
	Chrome (Cr)	1291,7	S14 (0-0,3 m)
	Cuivre (Cu)	699,9	S16 (0-0,3 m)
	Nickel (Ni)	1740,4	S14 (0-0,3 m)
	Plomb (Pb)	434,9	S13 (0-0,3 m)
	Zinc (Zn)	1794,9	S23 (0-0,3 m)

Données issues du Plan de Gestion

	Enfant (Visiteur)	Adulte (Visiteur)
Nombre de jour(s) d'exposition théorique annuelle (Ef, en jours) :	148 jours/an	148 jours/an
Quantité journalière de sol ingérée (Qs, en mg/j) :	91 mg / jour	50 mg / jour
Durée d'exposition théorique (T, en année) :	6 ans	40 ans
Période sur laquelle est moyennée l'exposition (Tm en années) :	70 ans	70 ans
Poids corporel de l'individu (P, en kg) :	15 kg	70 kg

2 j/sem pendant 10 mois et 7j/sem pendant 2 mois



**Risques inacceptables : voie par ingestion de sol (QD : As, Ni, Pb / ERI : As, Cr)**

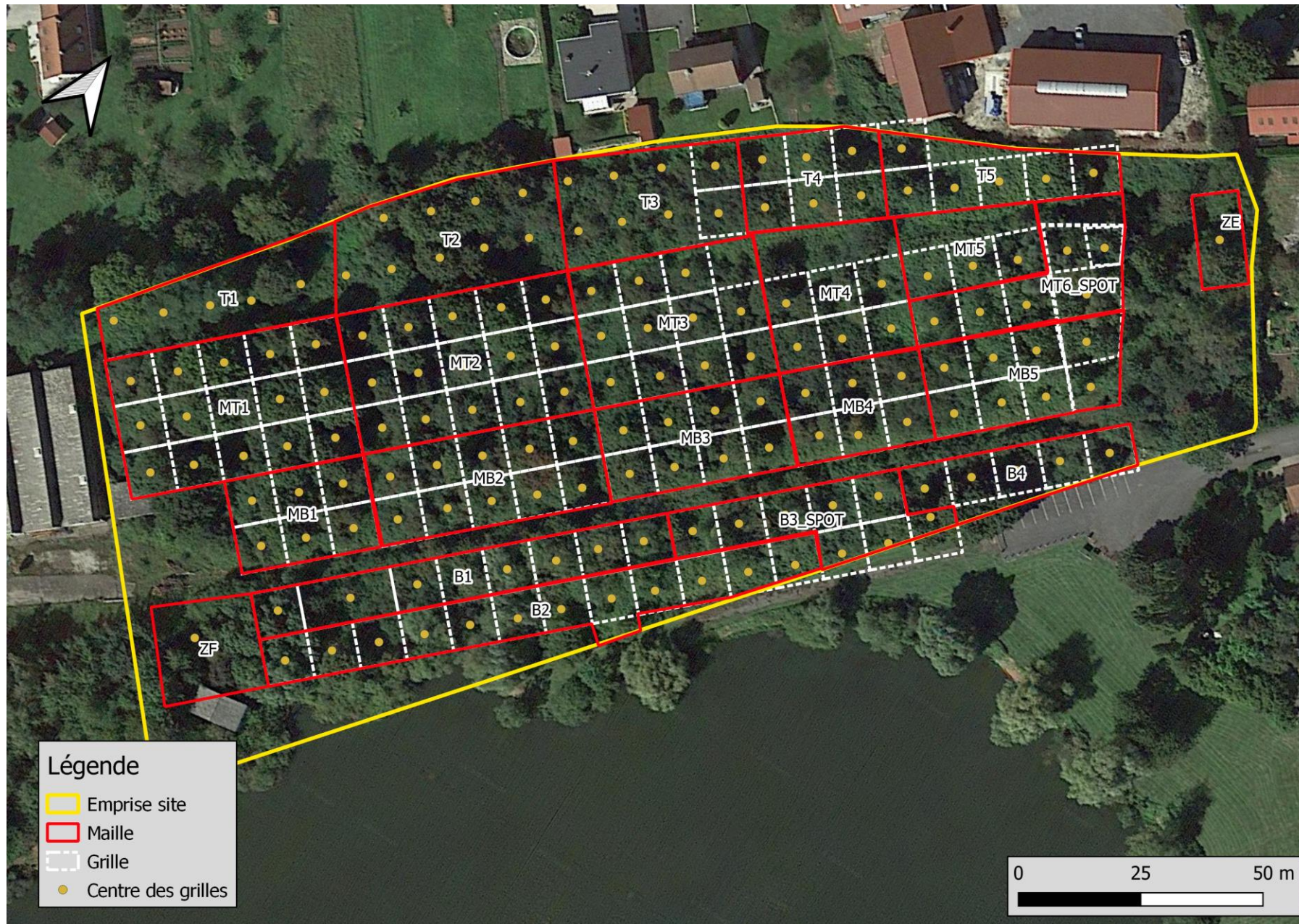


# Contexte du site : plan d'aménagement revu

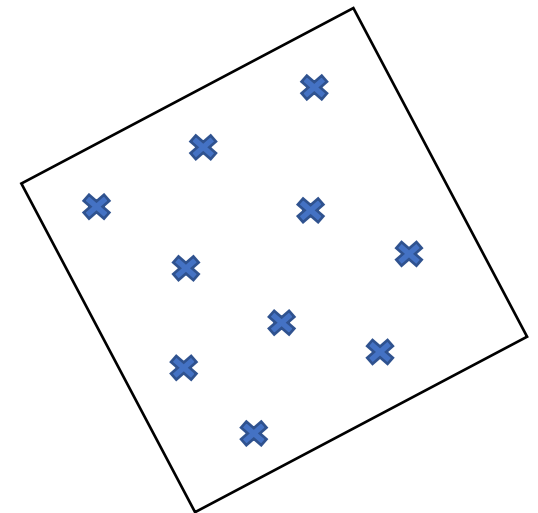




# Protocoles : Echantillonnage des sols



125 mailles

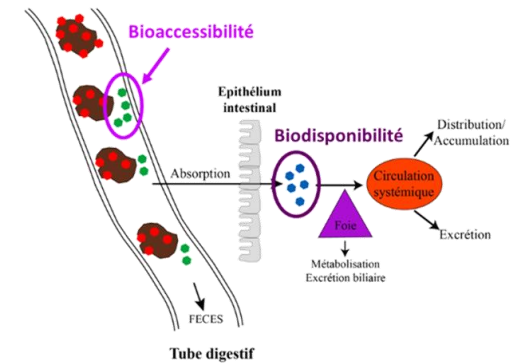




# Protocoles : Echantillonnage des sols



## Poolées en 20 grandes parcelles





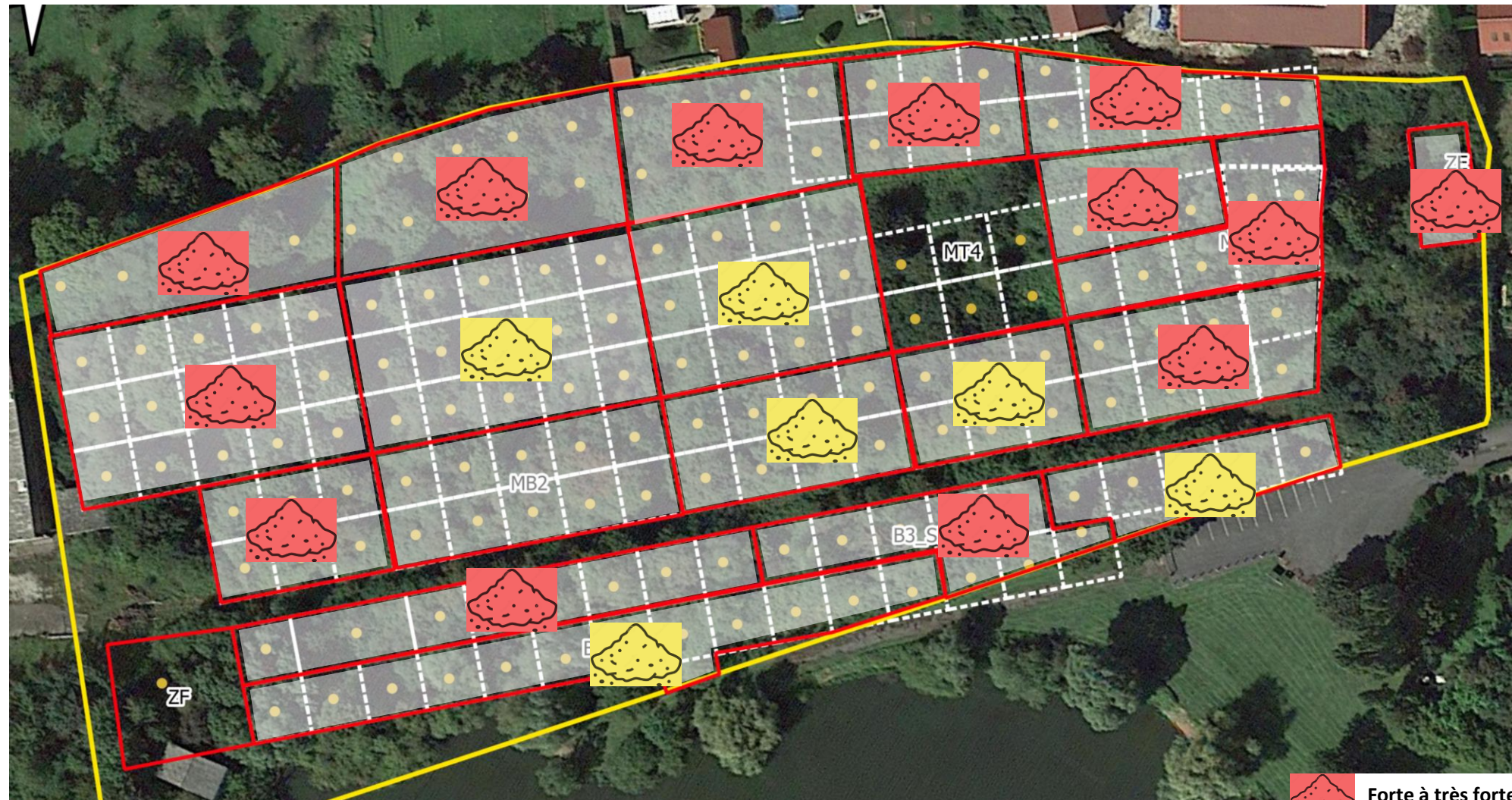
# La contamination des sols

Aspitet	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Hg	Pb	Zn
	25	0,45	23	60	20	60	0,1	50	100
T1	35,2	3,33	8,6	40,2	71,2	26,2	0,373	291	525
T2	41,7	0,65	8,4	33,7	80,0	21,2	0,288	121	245
T3	45,2	0,96	11,1	53,8	59,4	29,7	0,359	99	273
T4	42,0	0,94	10,5	53,2	62,1	31,4	0,373	110	301
T5	31,4	2,50	10,2	58,9	96,6	38,4	0,333	1091	3171
MT1	52,2	0,79	10,5	41,4	42,5	29,7	<0,189	132	338
MT2	60,2	0,89	12,9	60,1	30,0	33,3	0,213	96	166
MT3	52,4	0,96	13,4	55,1	32,3	30,5	<0,189	78	166
MT5	55,8	1,94	14,6	85,9	36,9	38,8	0,277	1128	1758
MT6 spot	45,7	34,33	19,9	466,8	238,2	196,9	3,324	33011	70385
MB1	90,3	1,53	41,9	606,4	225,6	703,0	1,171	154	623
MB2	63,8	0,72	16,4	152,9	62,2	117,0	0,254	64	163
MB3	50,9	0,53	11,9	49,4	27,7	28,6	<0,184	62	120
MB4	59,3	0,69	13,2	54,4	31,5	30,7	<0,189	78	131
MB5	57,4	4,72	19,1	364,1	136,1	203,2	0,688	2972	7134
B1	88,3	1,46	34,1	405,1	185,4	505,8	1,306	134	645
B2	31,4	0,65	10,3	37,7	28,8	29,2	0,239	53	160
B3spot	95,9	1,17	33,3	573,7	239,0	761,7	0,827	100	1107
B4	65,4	0,47	9,7	40,2	37,4	23,8	0,253	68	134
ZE	13,3	1,59	4,4	29,1	30,1	14,3	0,339	546	1518

De fortes concentrations en As, Cd, Pb, Hg, Zn et Cu sur l'ensemble des parcelles



# La contamination des sols



Forte à très forte contamination (>3 GVO)



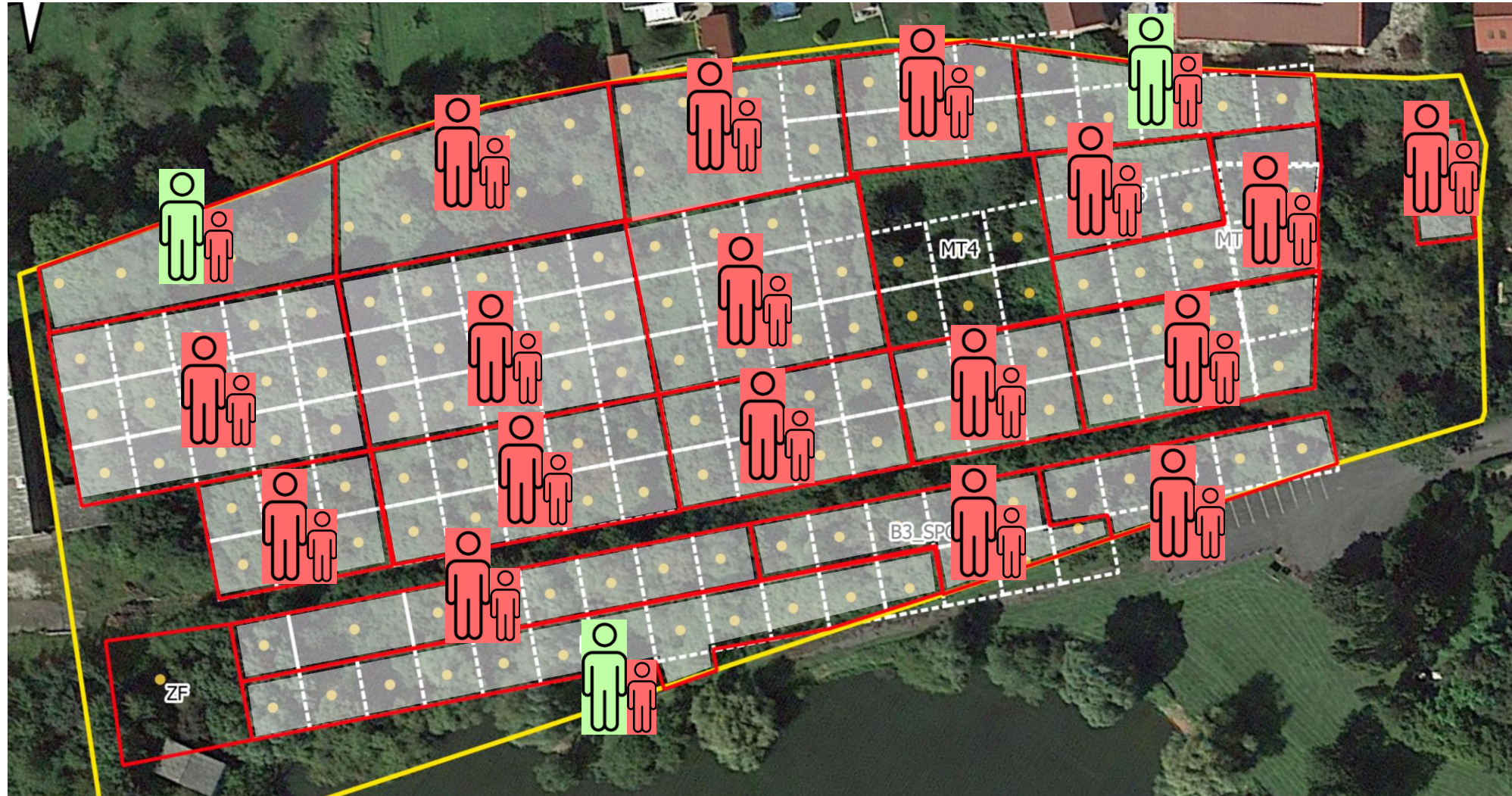
Contamination (> GVO)



Absence de contamination (<GVO)



# Les risques sanitaires : Concentrations Totales



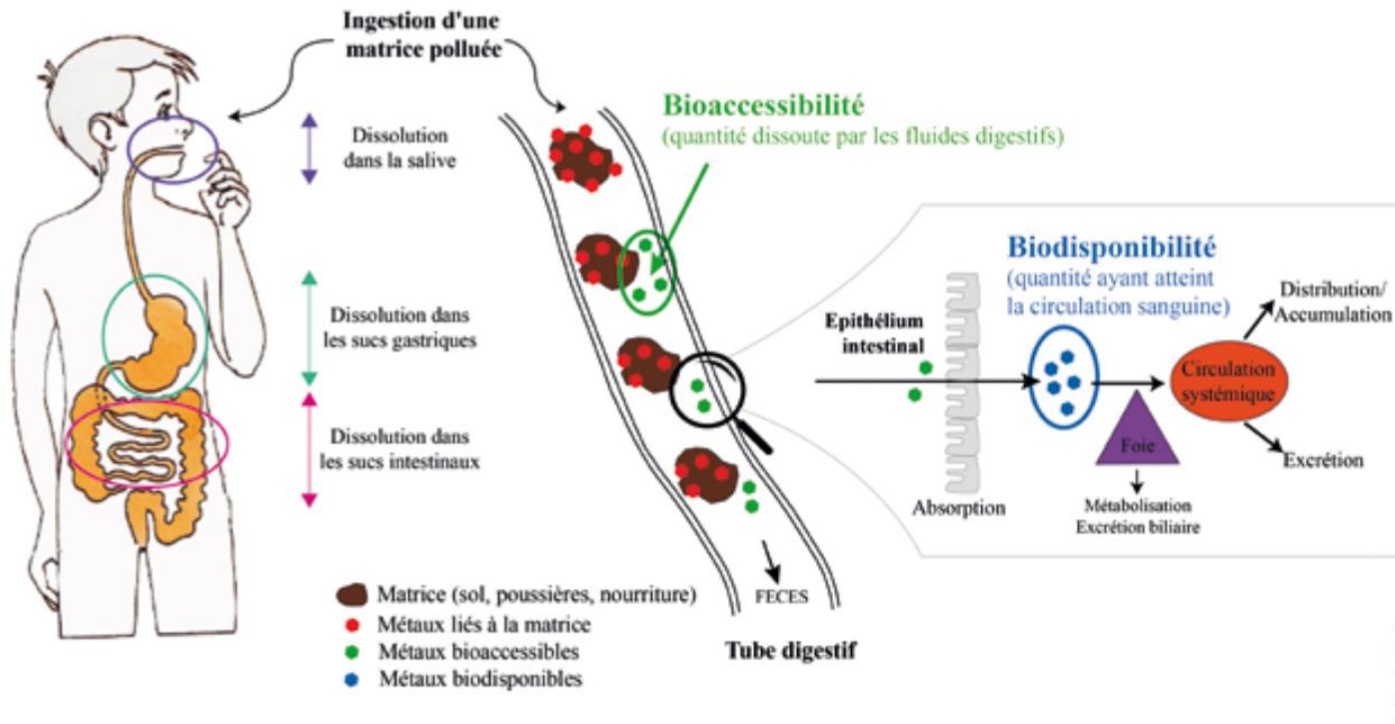
## EQRS sur les parcelles poolées :

Risques Acceptables : 0 parcelle (Enfants) et 3 (Adultes)

Risque Inacceptables : 20 parcelles (Enfants) et 17 (Adultes) (As, Pb, Ni)



# Protocoles : Evaluation des risques sanitaires



$$DJE = \frac{C \times Q \times F}{P} \times \frac{T}{T_m}$$

Pour l'As et le Cd :  $DJE_{ajustée} = DJE \times BA_{Terre}$

Pour le Pb :  $DJE_{ajustée} = DJE \times 2 \times BA_{Terre}$

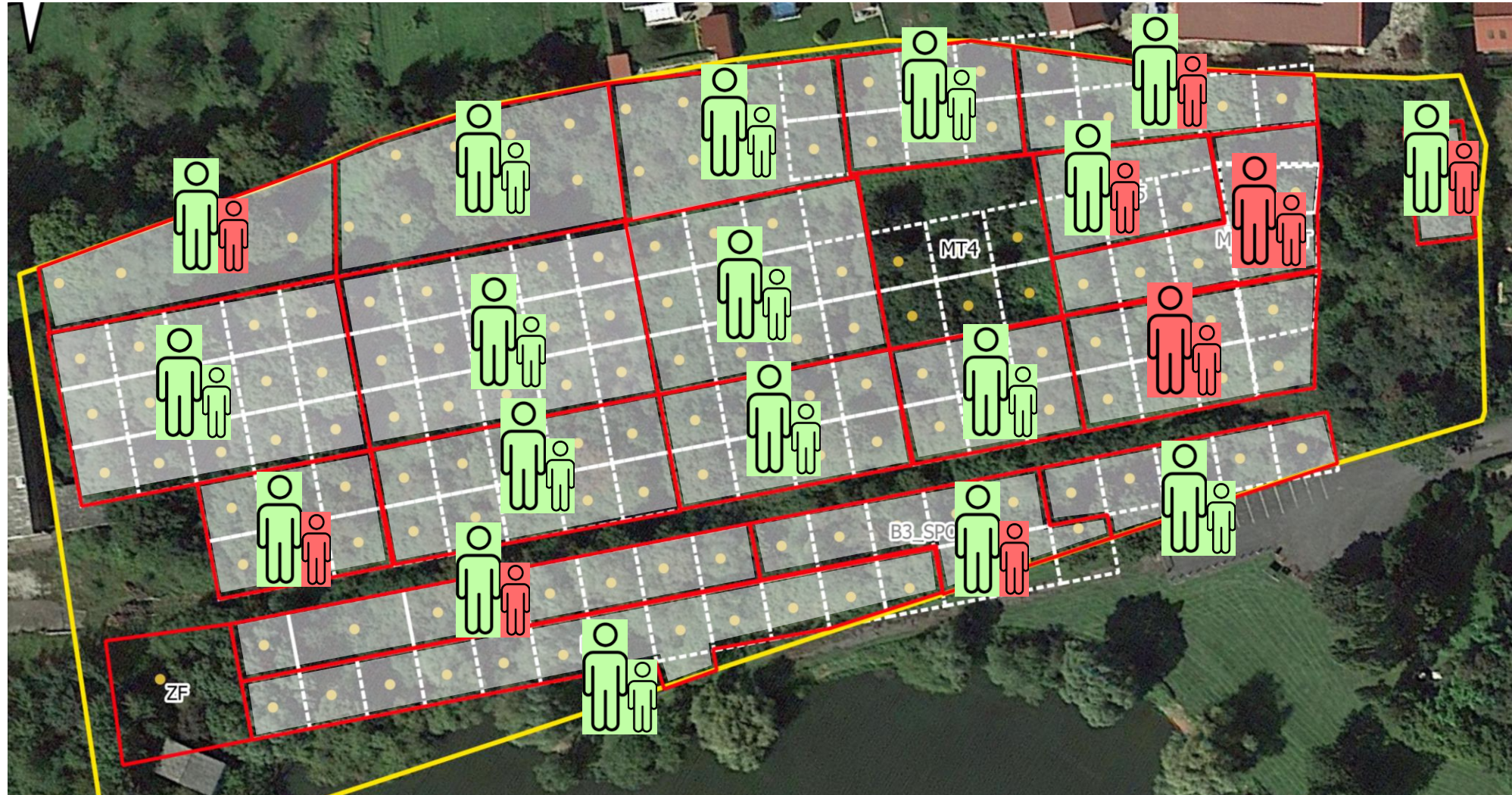
**Extraction à l'HCl** {

- + proche des conditions physiologiques (ratio S/L, réactif, T°C, pH)
- + rapide
- + d'échantillons / semaine

Haute autorité de Santé (2020): « Quand la concentration d'arsenic bioaccessible dans le sol dépasse 25 mg d'arsenic par kg de terre, il existe un risque que les personnes qui résident à cet endroit s'en imprègne en avalant ou en respirant des particules issues du sol ».



# Les risques sanitaires : Concentrations Bioaccessibles



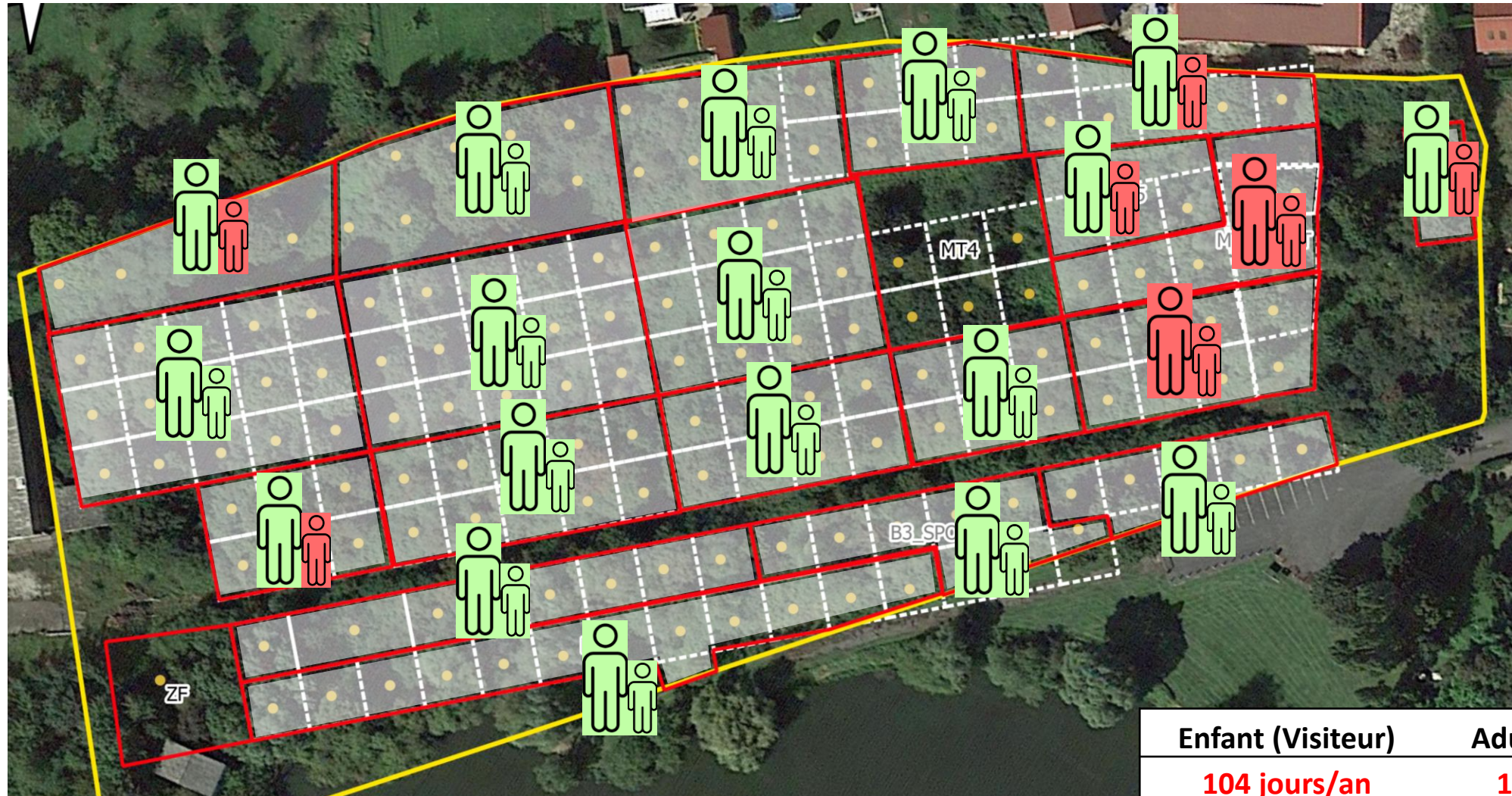
## EQRS sur les parcelles poolées :

Risques Acceptables : 11 parcelles (Enfants) et 18 (Adultes)

Risque Inacceptables : 9 parcelles (Enfants) et 2 (Adultes) (As, Pb, Ni)



# Les risques sanitaires : Concentrations Bioaccessibles



## EQRS sur les parcelles poolées :

**Risques Acceptables :** 13 parcelles (Enfants) et 18 (Adultes)

**Risque Inacceptables :** 7 parcelles (Enfants) et 2 (Adultes) (As, Pb, Ni)

Enfant (Visiteur)	Adulte (Visiteur)
<b>104 jours/an</b>	<b>104 jours/an</b>
91 mg / jour	50 mg / jour
6 ans	40 ans
70 ans	70 ans
15 kg	70 kg



# Protocoles : Evaluation des risques environnementaux

➤ Détermination des concentrations en métaux dans les escargots exposés sur le site à diagnostiquer et calcul de l'indice SET



*Cantareus aspersus*  
Age : 2-3 mois  
Masse ~ 5,0 g

Entre 1 à 3 microcosme(s) par zone  
contenant 15 escargots exposés  
pendant 28 jours

6 escargots analysés par  
ICP MS après digestion  
acide

**Exposition**

$$AQ = \frac{\text{Concentration du contaminant X après 28 jours d'exposition}}{\text{TGV du contaminant X}}$$

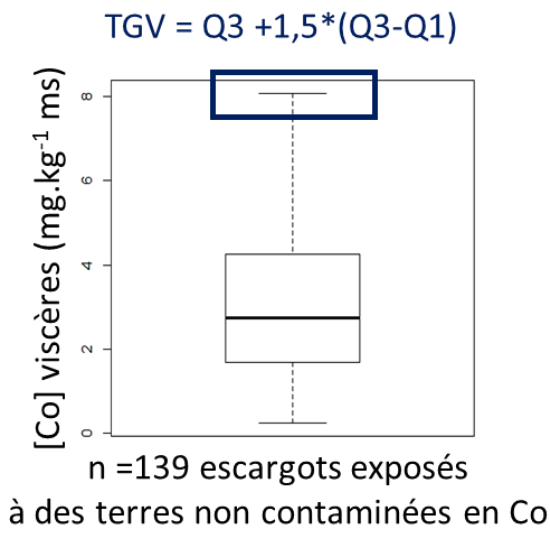
Calcul des indices de risques pour l'ERE

$$SET = \sum AQ - 1$$

**Risque**

$$RC = AQ \times TP \text{ du contaminant}$$
$$ERITME/GERITOXE = \sum RC$$

6



Métal	CIRef mg kg <sup>-1</sup>	Métal	CIRef mg kg <sup>-1</sup>
As	0.307	Ni	5.249
Cd	2.27	Pb	12.9
Co	6.676	Sb	0.076
Cu	184.7	Sn	0.058
Cr	2.01	Sr	125.7
Hg	0.198	Tl	0.259
Mo	4.428	Zn	1490



# Les risques environnementaux

Condition	ERITME											SET
	As	Cd	Co	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl	Zn	
T1	3,007	4,485	1	1	1	1	1	3,901	4,612	1	1	12,005
T2	4,919	2,08	1	1	1	1	1	3,423	4,025	1	1	10,447
T3	5,212	2,911	1	1	1	1	1	1,106	6,062	1	1	11,291
T4	5,306	2,563	1	1	1	1,052	1	1,171	4,638	1	1	9,73
T5	2,886	2,926	1	1	1	1	1	10,153	4,175	1	1,135	16,275
MT1	3,697	1,662	1	1	1	1,108	1	1	2,413	1	1	4,88
MT2	3,02	2,027	1	1	1	1	1	1	2,225	1	1	4,272
MT3	5,45	2,011	1	1	1	1	1	1	3,237	1	1	7,698
MT5	2,834	1,857	1	1	1	1,256	1	5,637	2,663	1	1	9,247
MT6	1,518	4,752	1	1	1	1,282	1	40,627	6,85	1	4,9	53,929
MB1	2,567	2,123	1	1	1	1,48	2,934	1	2,025	1	1	6,129
MB2	3,124	1,834	1	1	1	1,188	1,366	1	1,825	1	1	4,337
MB3	2,98	1,69	1	1	1	1	1	1	2,488	1	1	4,158
MB4	1,554	2,109	1	1	1	1	1	1	1,663	1	1	2,326
MB5	1,417	2,704	1	1	1	1,992	1	15,137	3,825	1	1,554	20,629
B1	2,316	2,035	1	1	1	1,805	3,55	1	1,812	1	1	6,518
B2	2,199	2,075	1	1	1	1	1	1	1,6	1	1	2,874
B3	2,648	1,625	1	1	1	1	1,573	1	1,65	1	1	3,496
B4	5,596	1,852	1	1	1	1	1	1	3,212	1	1	7,66
ZE1	1,798	2,213	1	1	1	1	1	6,534	4,025	1	1	10,57
ZF1	3,756	1,507	1	1	1	4,486	3,232	1	1,7	1	1	9,681



# Les risques environnementaux





# Les risques sanitaires et environnementaux



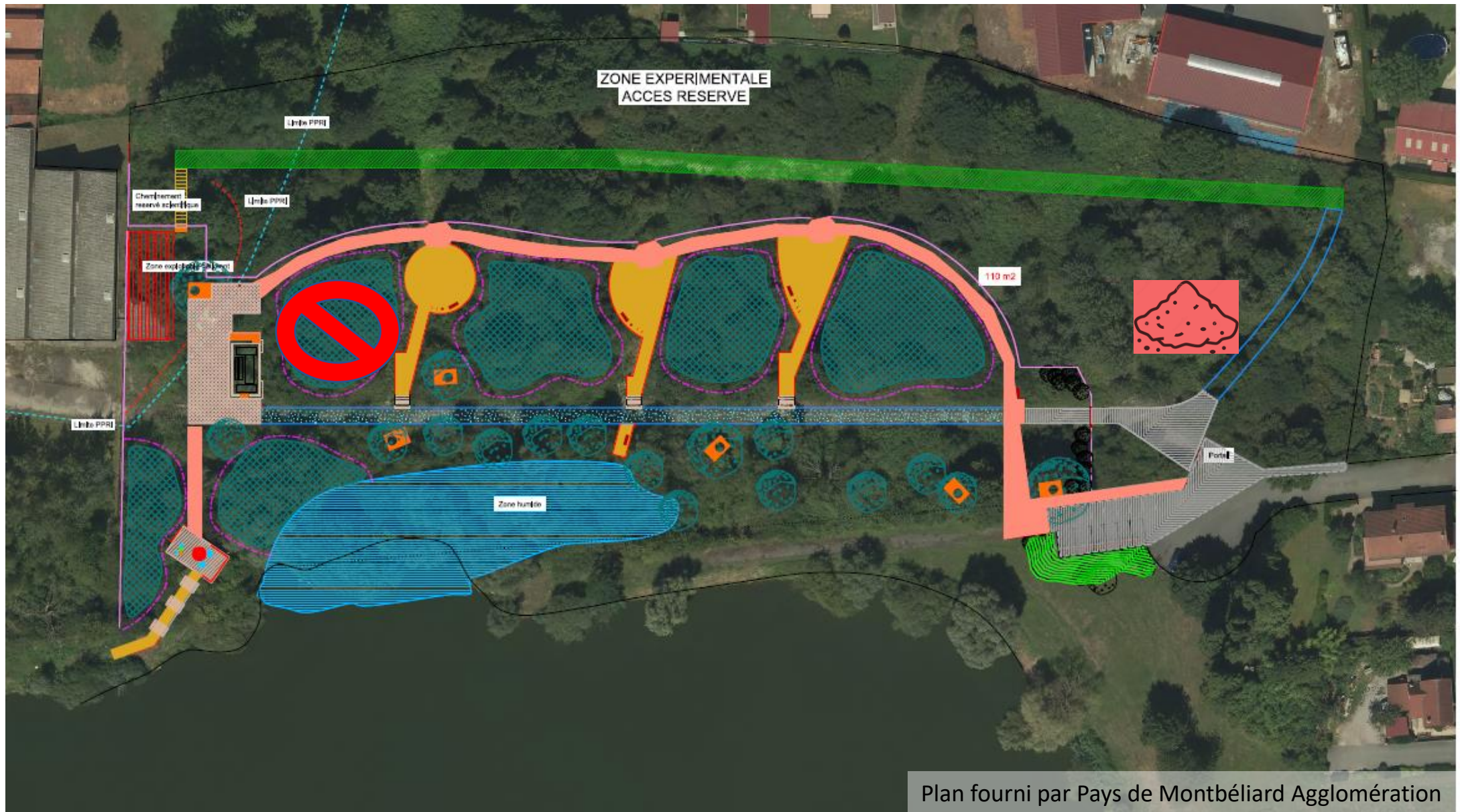


# Conclusion





# Conclusion





# ECOPOLIS

**MERCI !**

**[benjamin.pauget@tesora.fr](mailto:benjamin.pauget@tesora.fr)**

La découverte de la phytoremédiation

Les belvédères

La zone humide

La promenade des pêcheurs