

ÉTUDES SUR LES ANCIENNES EXPLOITATIONS
MINIÈRES DITES DE « LA-CROIX-DE-PALLIÈRES »
ET DE « SAINT-SÉBASTIEN-D'AIGREFEUILLE »

**Comité de Suivi et d'Information
Lundi 17 décembre 2018**



Sommaire

- 1. Synthèse de la phase informative**
- 2. Recensement et caractérisation des sources de contamination**
- 3. Etude des voies de transferts (eaux, sédiments et air)**
- 4. Etat d'avancement de l'étude sanitaire**

Synthèse de la phase informative

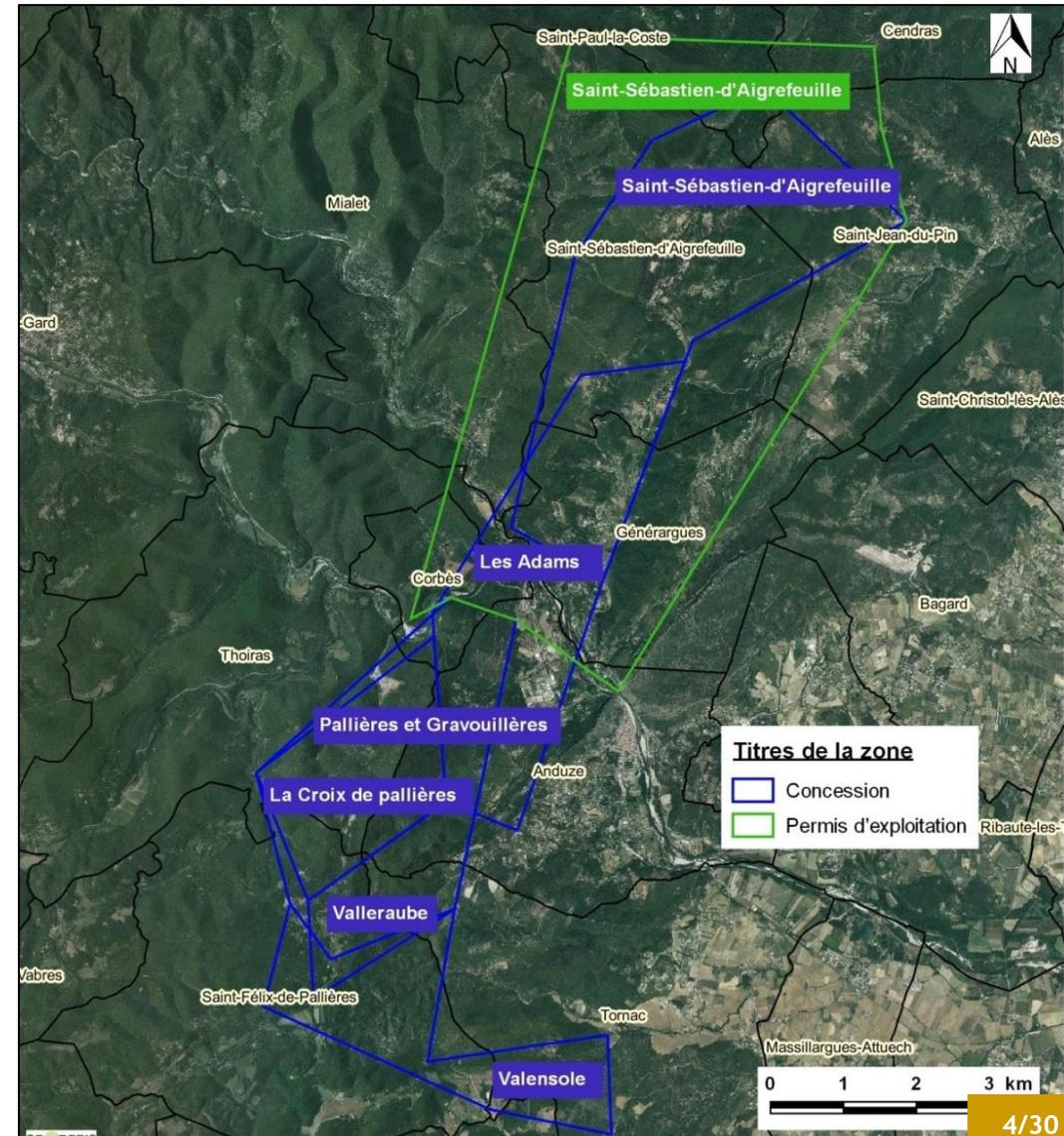
Titres miniers de la zone

Pour le plomb et le zinc :

Concession de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille
PEX de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille
Concession de La-Croix-de-Pallières
Concession de Valensole

Pour la pyrite :

Concession des Adams
Concession de Pallières-et-Gravouillère
Concession de Valleraube



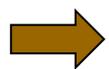
Géologie

Bordure sous-cévenole

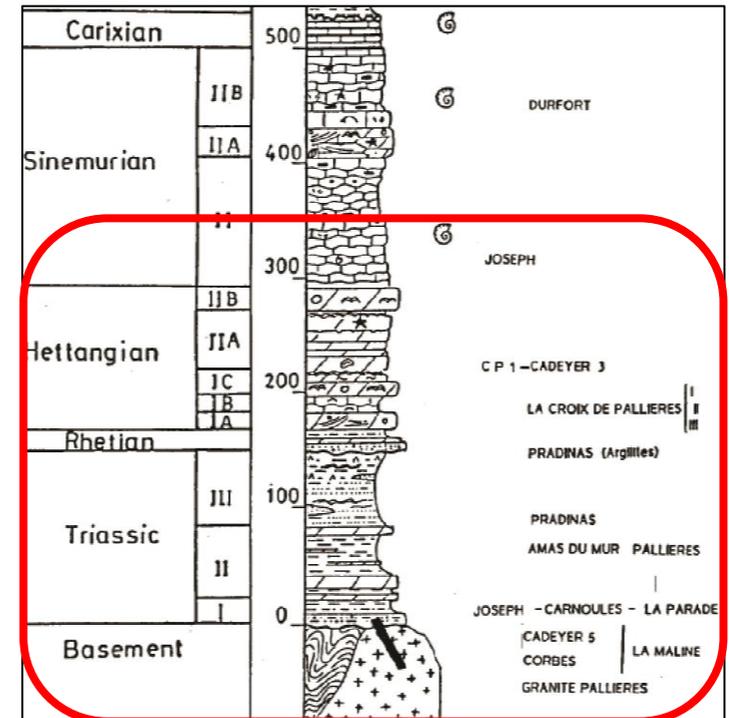
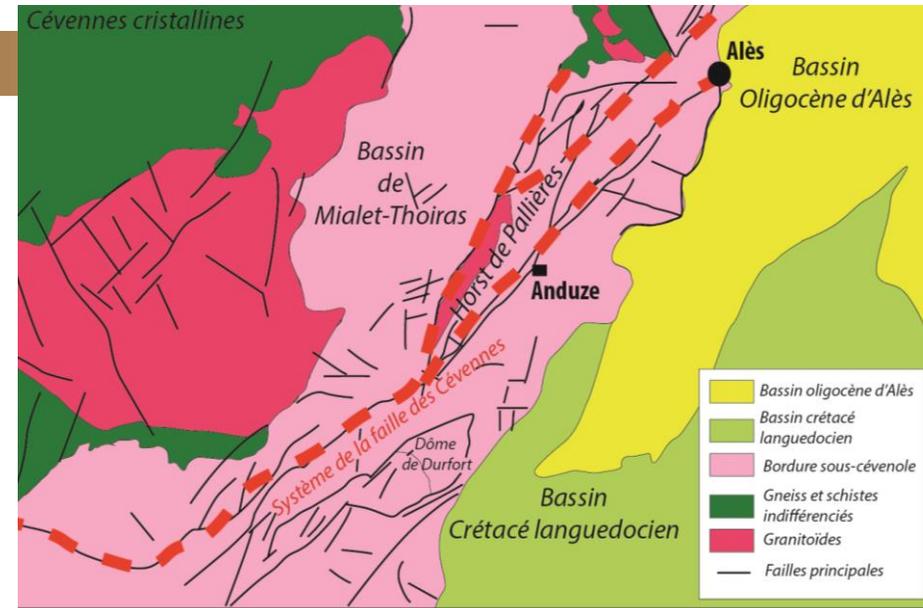
- géologie complexe (failles, déformations, lithologie)
- majorité des gîtes minéraux connus

Gisements

- plomb/zinc de type Mississippi Valley (MVT)
 - *Croix-de-Pallières, mine Joseph, Valensole*
- plomb dans les formations détritiques de type grès et arkoses
 - *Carnoulès, Saint-Jean-du-Pin, la parade, Pradinas et la Baraquette*



Localisation prédictive des minéralisations difficile de par les structures géologiques et faciès stratigraphiques complexes



Les teneurs naturelles en métaux et métalloïdes dans les sols peuvent être localement conséquentes, et à des niveaux pouvant potentiellement engendrer des problématiques sanitaires sur les usages des sols et de l'eau, par contact direct ou par transfert dans les milieux d'exposition, sans lien direct avec les anciens travaux miniers.

Hydrogéologie et hydrologie

Caractéristiques des aquifères

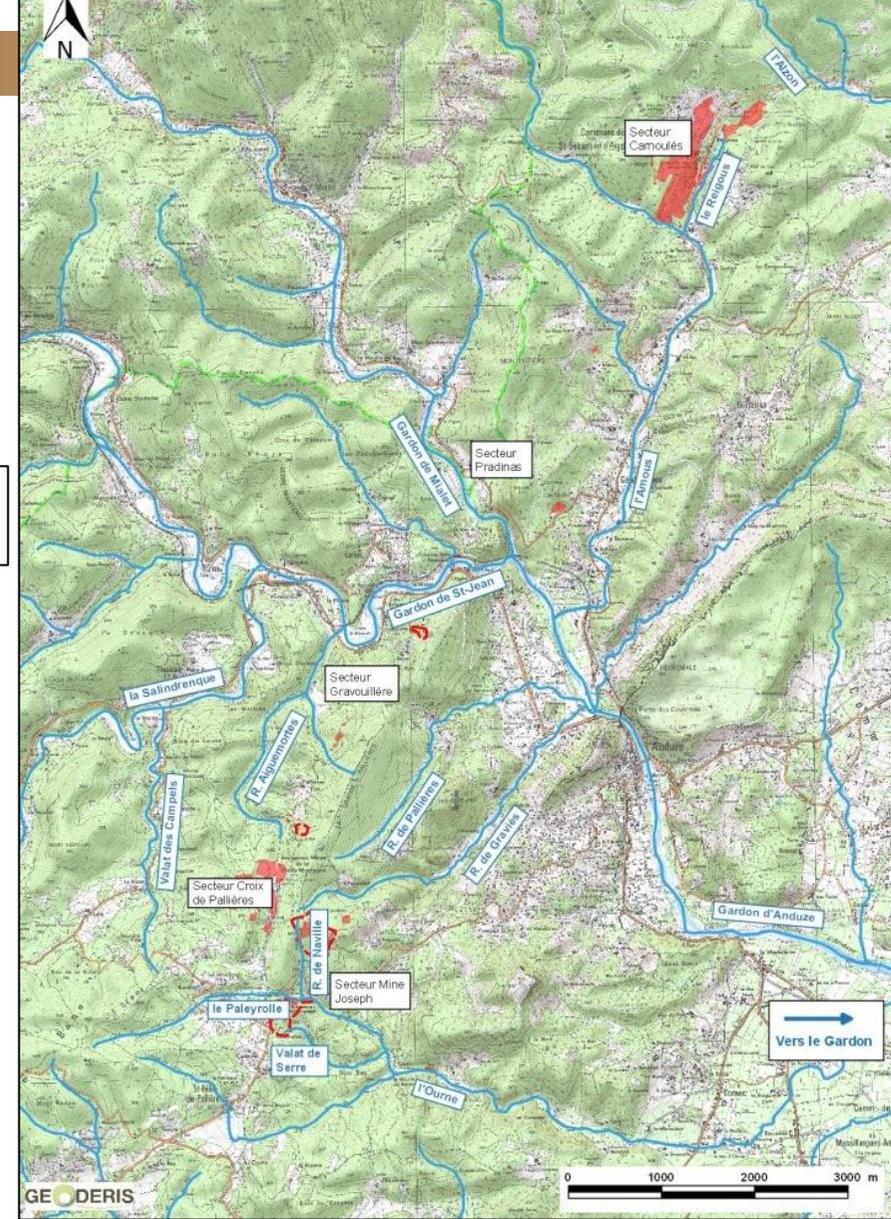
- compartimentage marqué
- volume et capacité de production variables

➔ **Continuité hydraulique inter-compartiment non avérée**

Bassin versant du Gardon

- réseau hydrographique dense
 - régime des eaux de surface irrégulier
- le débit du Gard peut varier de 1,5 m³/s à plusieurs milliers de m³/s
- dynamique fluviale importante
- A Anduze, les jardins longeant le Gardon étaient autrefois recouverts par 50 cm de graviers à chaque grande crue

➔ **Phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt important lors des crues... qui peuvent concerner les zones d'anciens travaux miniers**



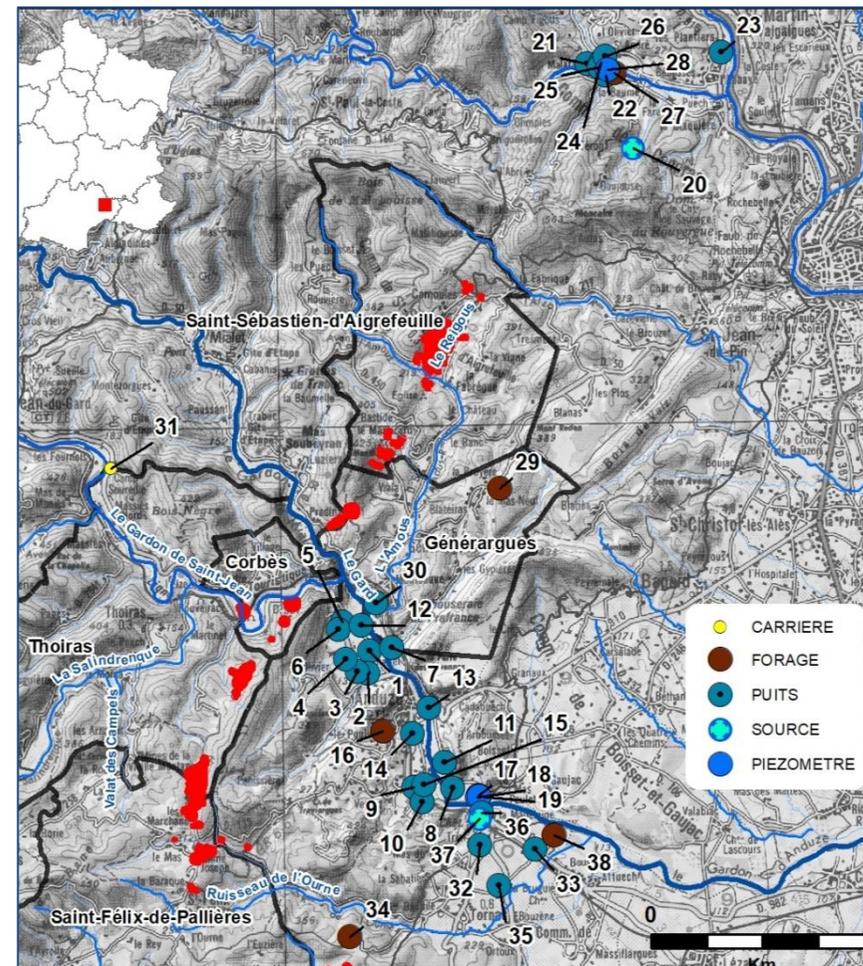
Usages sensibles des eaux souterraines

Banque de Données du Sous-Sol (hors AEP)

- 38 points d'eau avec usage sensible (domestique, irrigation)
 - en aval des anciens travaux miniers

Captages d'eau relevés sur le terrain

- sources et forages non déclarés (puits, tuyaux d'arrosage)
 - au droit ou à proximité des anciens travaux miniers



Usages sensibles des eaux souterraines

Captages AEP (données ARS) :

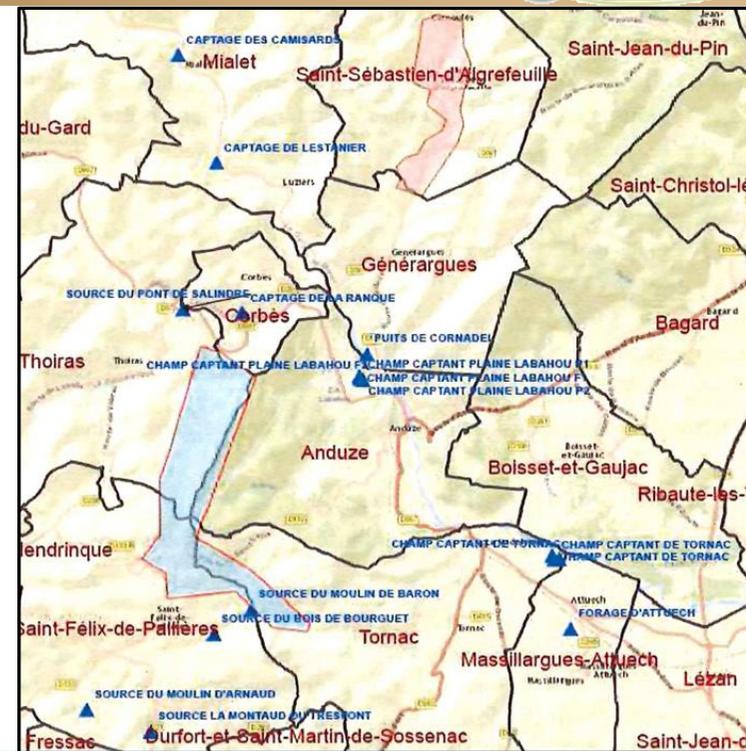
- 13 points de captage AEP
- 2 périmètres de protection couvrent des anciens travaux miniers

1) Sources du Moulin de Baron : p.p. rapproché

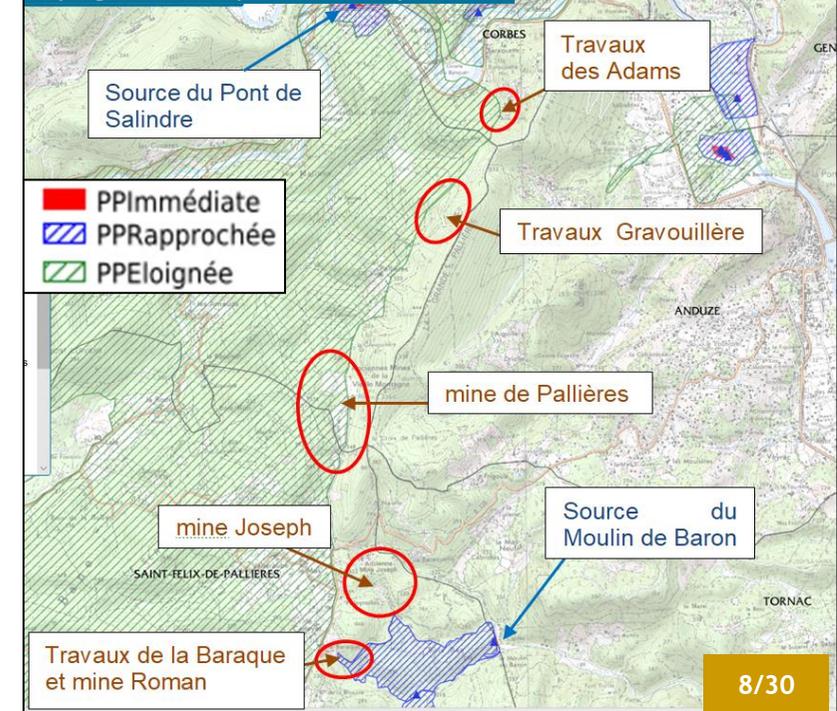
- travaux de la Baraque et mine Roman
- en amont du captage : mine de Pallières et mine Joseph

2) Pont de Salindre : p.p. éloigné

- mine de Pallières, travaux de Gravouillère et des Adams



Captages d'eau et périmètres de protection



La note ARS sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine en date de 2016 indique une **bonne qualité globale** des ressources, avec quelques teneurs métalliques ponctuelles

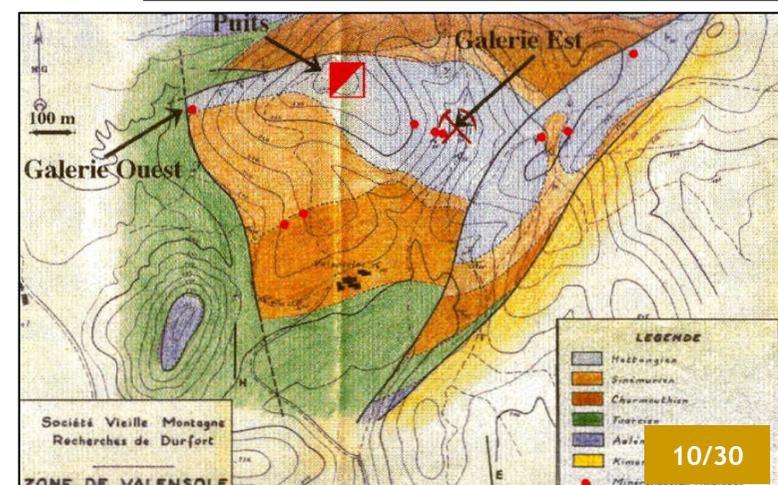
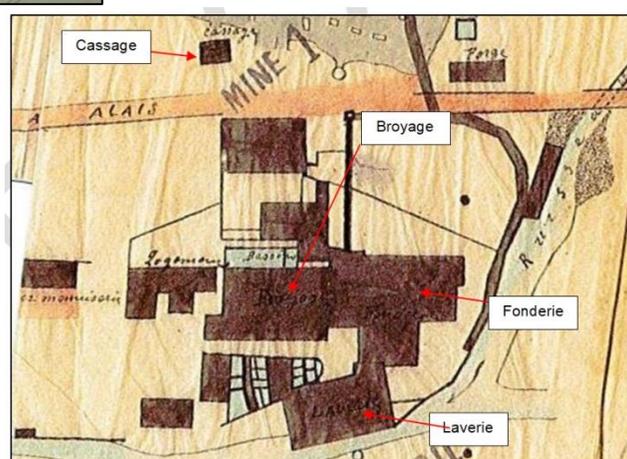
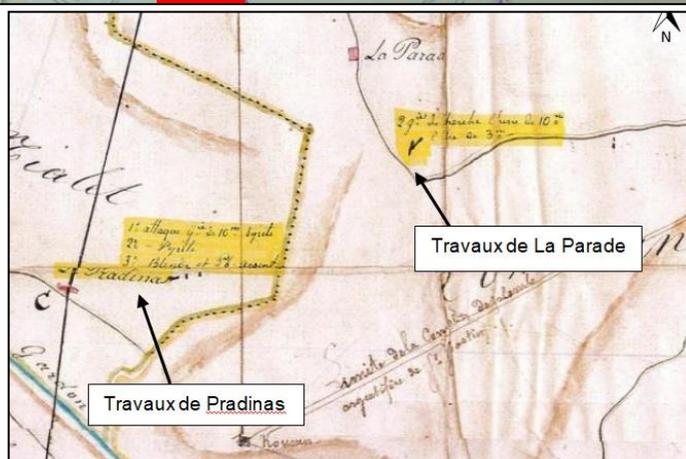
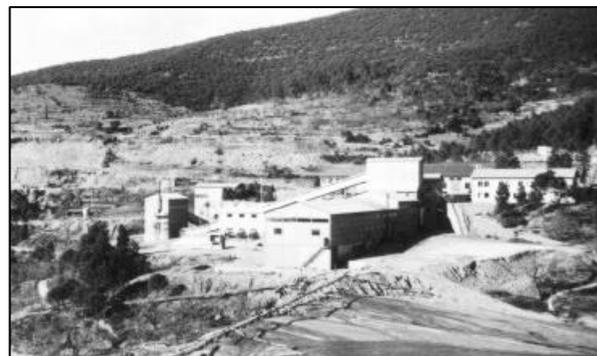
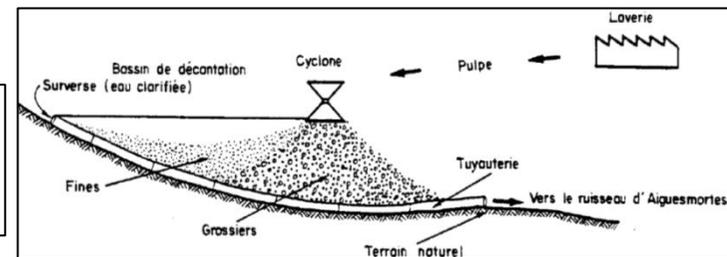
Sources de contamination

Étude détaillée de l'historique minier

Consultation d'archives : DREAL Occitanie, Centre d'Archives Nationales de Fontainebleau, BRGM, Archives Départementales 30, travaux universitaires, rapports de bureaux d'études, etc.

Documents exploités : PV des ingénieurs des Mines, rapports de l'exploitant, plans d'exploitation, cartes, coupes de gisements, schémas, etc.

➔ Chronologie et localisation des travaux, données de production, fonctionnement des unités de traitement, etc.



Cartographie et caractérisation

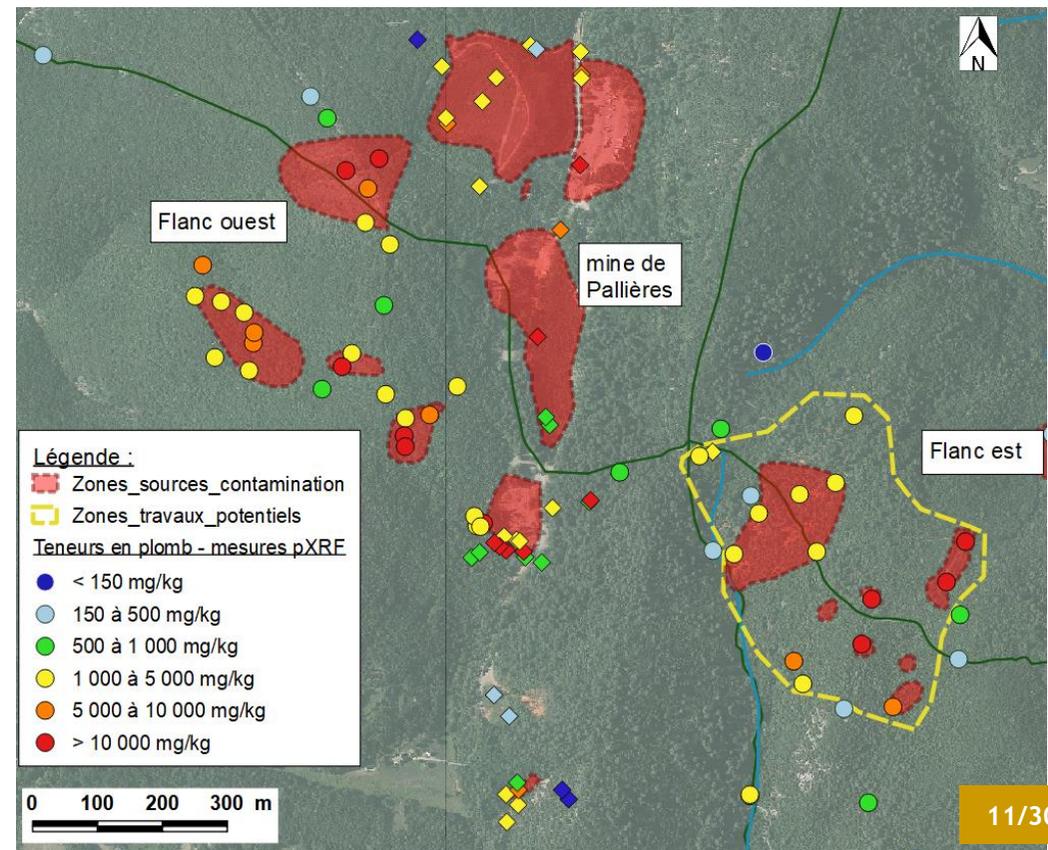
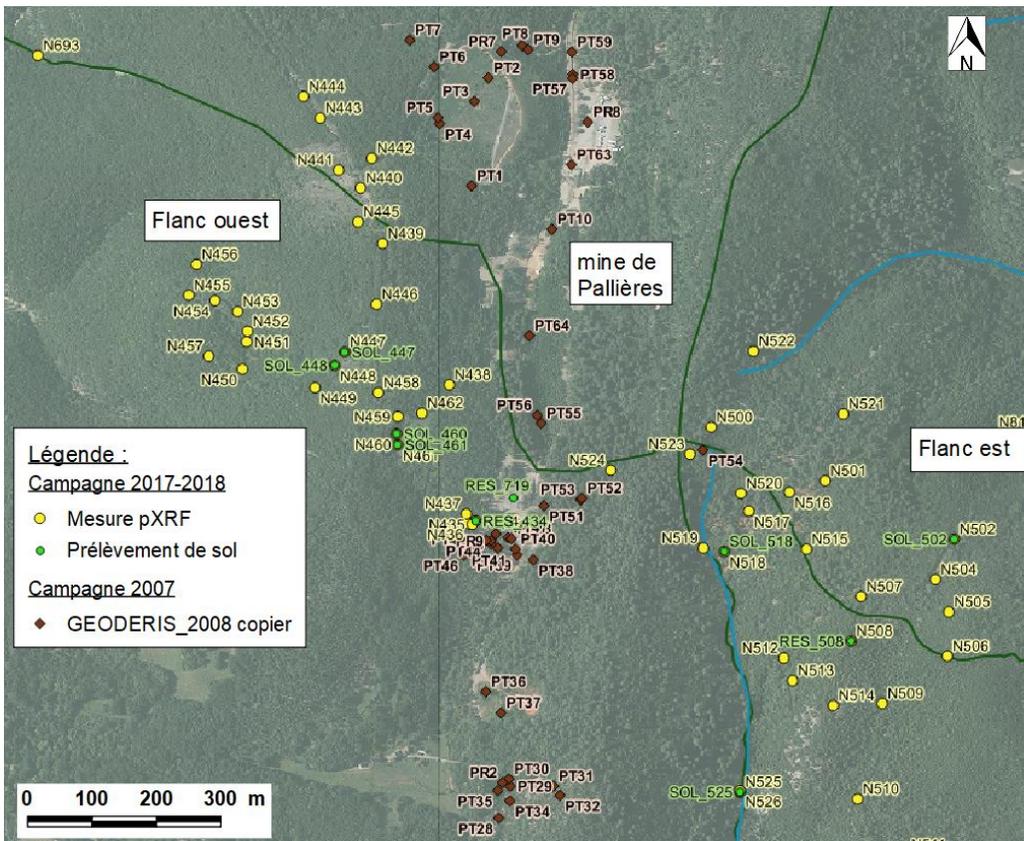
Campagnes d'investigations

- 5 semaines de terrain entre mai 2017 et mars 2018
- 400 mesures par fluorescence X portable (pXRF), 100 prélèvements de sol + analyses en laboratoire



Paramètres recherchés

- Métaux et métalloïdes (As, Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Sb, Zn, Ag, Ba, Tl, U, Ge, etc.), soufre, cyanures, etc.



Trois sortes de sources de contamination

1) Dépôts de matériaux

- Déblais de creusement, d'extraction, résidus de traitement et de transformation
- En forme de tas ou en versé à flanc de coteaux



2) Travaux de surface

- Grattages, tranchées, fronts de taille



Matériaux à nu, pente, granulométrie fine → **érosion**



3) Eaux souterraines

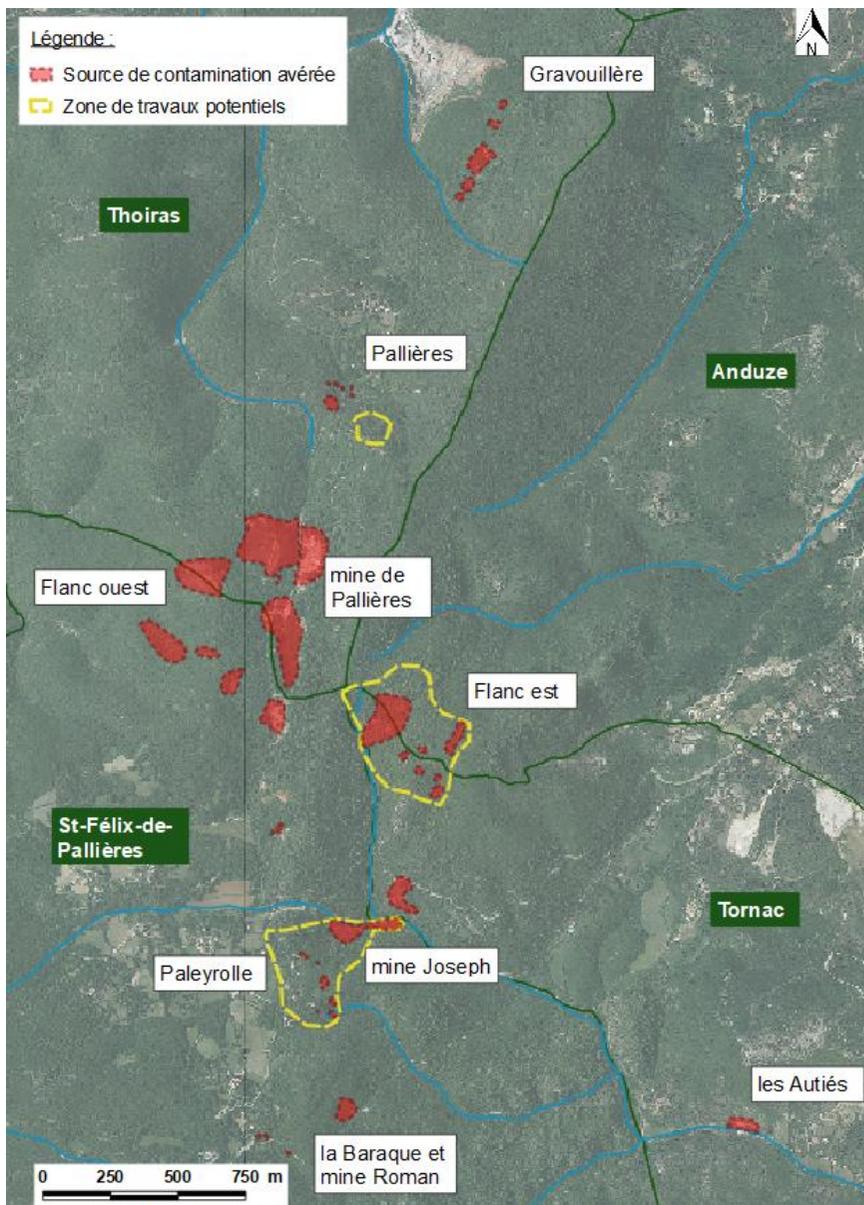
- Aquifères miniers (émergences par extension), lixiviats de dépôt



➔ Teneurs et concentrations en **métaux et métalloïdes très élevées** (Pb, As, Zn, Cd, Sb, etc.)
Proximité spatiale des cours d'eau et des nappes

Dépôts et travaux de surface

Concessions Croix-de-Pallières, Gravouillère et Valleraube

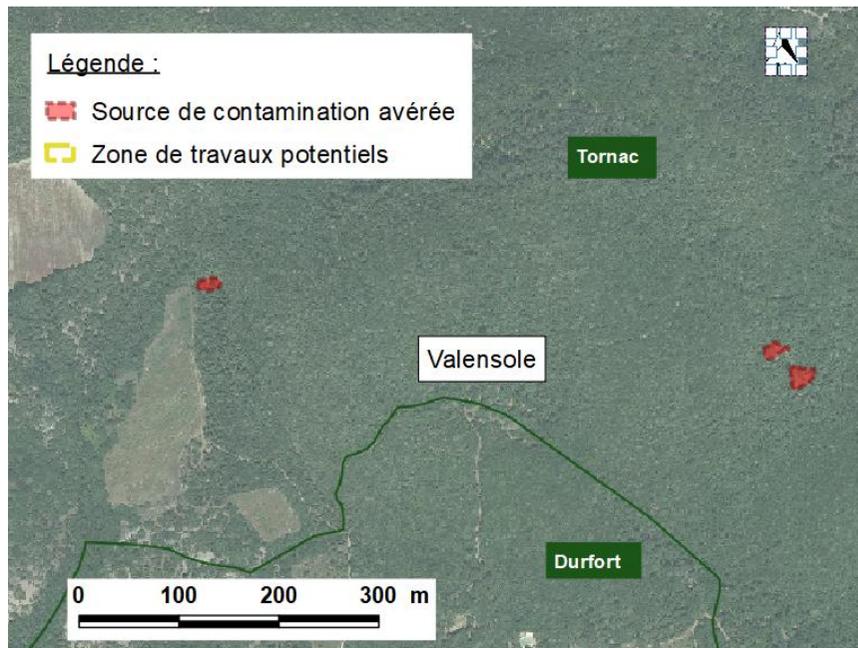


SECTEUR	COMMUNE	TYPE	SURFACE CONCERNEE	PHOTOGRAPHIE
Mine Joseph	Saint-Félix-de-Pallières	Dépôts de creusement et d'extraction	1 ha	
Mine Curnier	Tornac	Travaux de surface et dépôts de matériaux	7 000 m ²	
Laverie des Autiés	Tornac	Résidus de traitement	1 200 m ²	
Lieu-dit Paleyrolles	Saint-Félix-de-Pallières	Travaux de surface et dépôts de matériaux	Cumul de dépôt : 1 200 m ² Travaux potentiels sur 10 ha	
Carreau de mine de Pallières	Saint-Félix-de-Pallières	Bâtiments et dépôts de matériaux	> 8 ha	
Flanc ouest de Pallières	Saint-Félix-de-Pallières Thoiras	Travaux de surface et dépôts de matériaux	5 ha	
La Fabrique	Thoiras	Bâtiment et dépôts de matériaux	Travaux potentiels sur 1 ha	
Flanc est de Pallières – Terres Rouges	Anduze Thoiras Tornac	Travaux de surface et dépôts de matériaux	Travaux potentiels sur 15 ha	
Mine de Gravouillère	Thoiras	Travaux de surface et dépôts de matériaux	Cumul de dépôt : 11 000 m ²	
La Baraque et Mine Roman	Saint-Félix-de-Pallières	Dépôts de matériaux	Cumul de dépôt : 6 000 m ²	



Superficie cumulée de 43 hectares

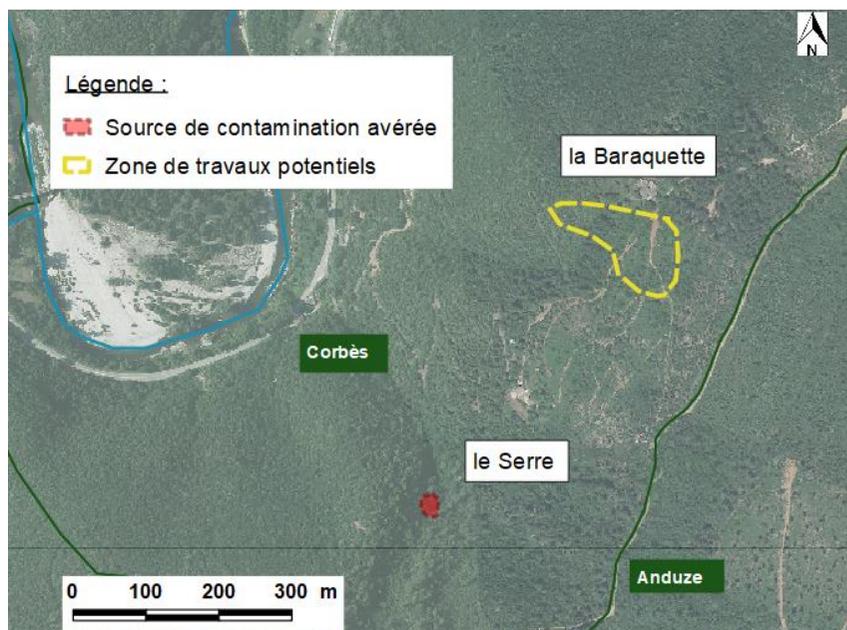
Concession de Valensole



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	SURFACE CONCERNEE	PHOTOGRAPHIE
Mine de Valensole - Est du hameau	Tornac Hameau de Valensole	Travaux de surface et dépôts de matériaux	800 m ²	
Mine de Valensole - Ouest du hameau	Tornac Hameau de Valensole	Dépôts de matériaux	250 m ²	

➔ **Superficie cumulée de 1 050 m²**

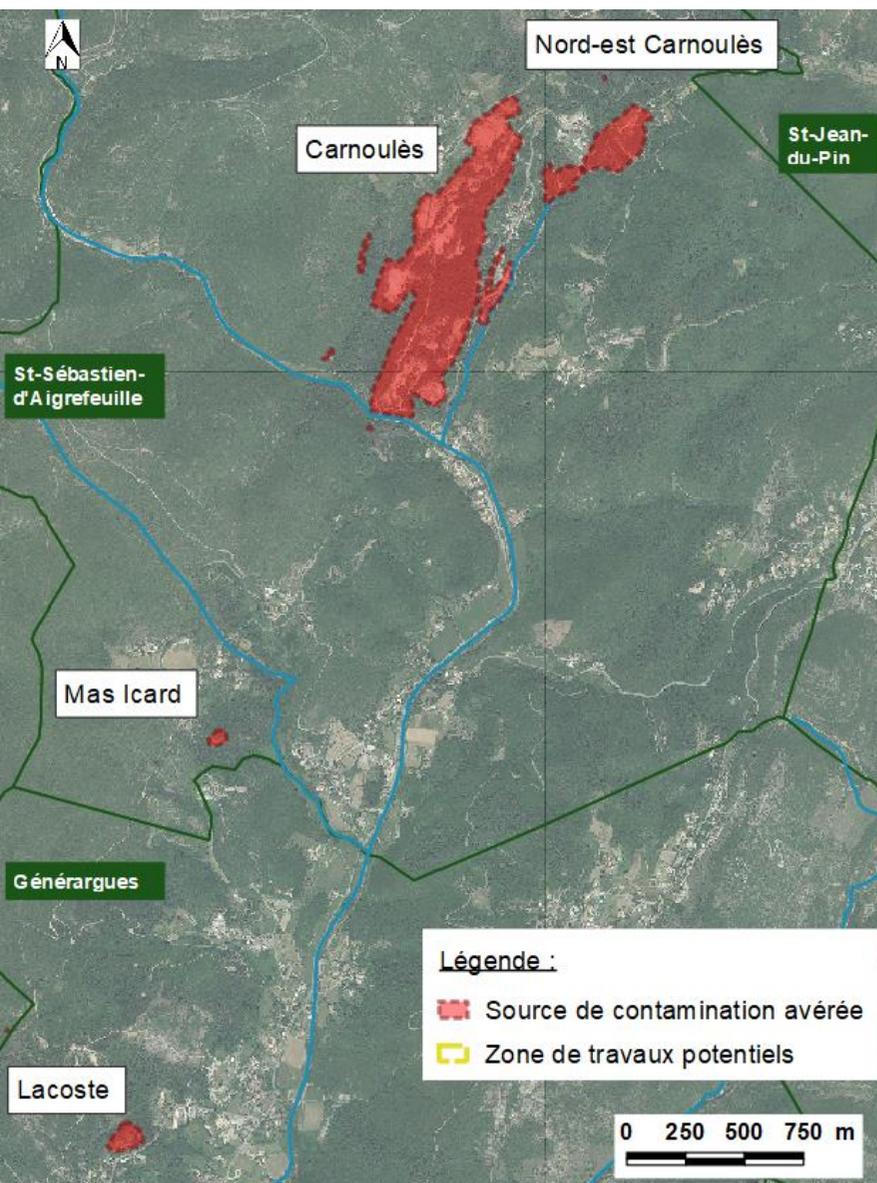
Concession des Adams



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	SURFACE CONCERNEE	PHOTOGRAPHIE
Mine de la Baraquette	Corbès	Travaux miniers	1 hectare	
Mine du Serre	Corbès	Travaux miniers et dépôt de matériaux	500 m ²	
Mine du Pradinas	Mialet	Travaux miniers et haldes	Aval versant : 2 à 3 000 m ² Amont versant : 500 à 800 m ²	

➔ **Superficie cumulée de 1,5 hectares**

Concession de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille



SECTEUR	COMMUNE	TYPE	SURFACE CONCERNEE	PHOTOGRAPHIE
Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Dépôt de résidus de traitement	6 hectares	
Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Dépôt de résidus de traitement – ancienne laverie	Quelques centaines de mètres cubes	
Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux de surface et dépôts de matériaux	40 hectares	
Nord-est Carnoulès	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux miniers et dépôts de matériaux	100 m ²	
Ravin des Combettes	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux miniers et dépôts de matériaux	Dépôt aval : 1 000 m ² Dépôts amont : 3 000 m ²	
Mas Icard	Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille	Travaux de surface et dépôt de matériaux	4 000 m ²	
Mine Lacoste	Gènerargues	Travaux de surface et dépôts de matériaux	11 000 m ²	



Superficie cumulée de 48 hectares

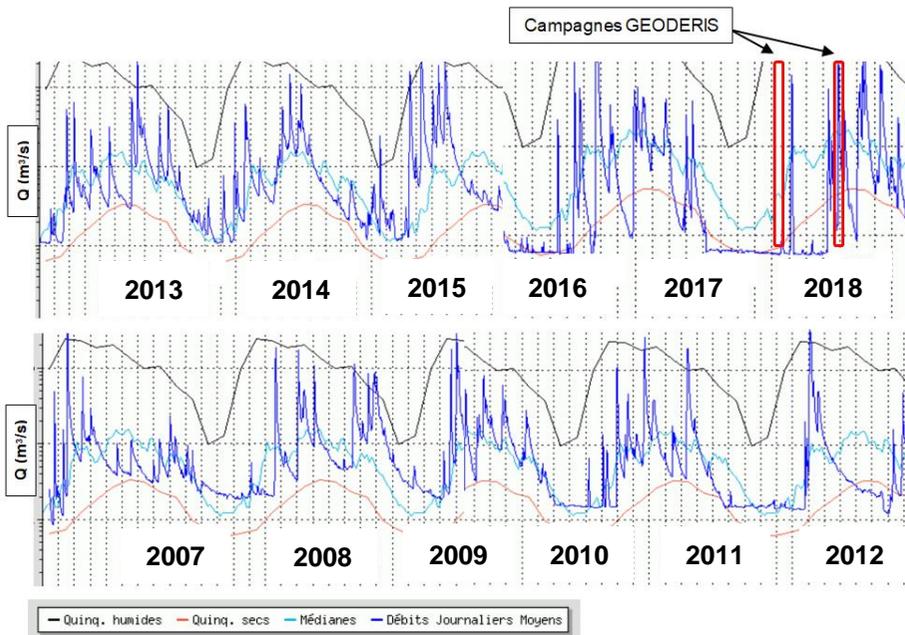
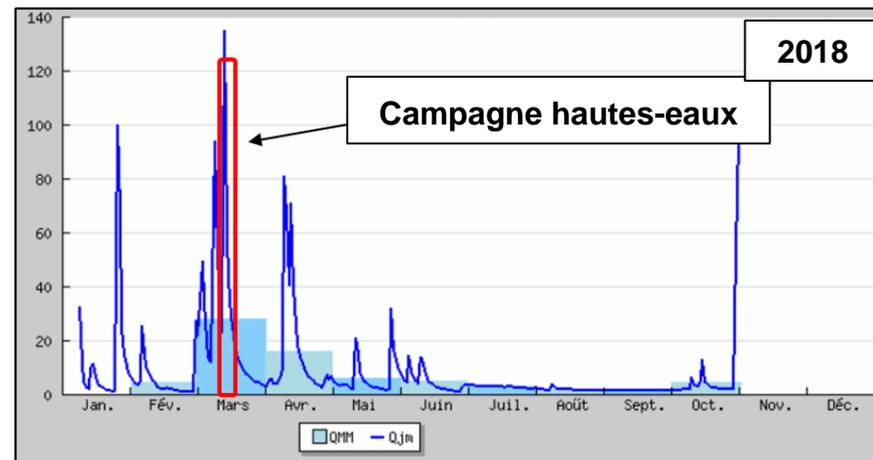
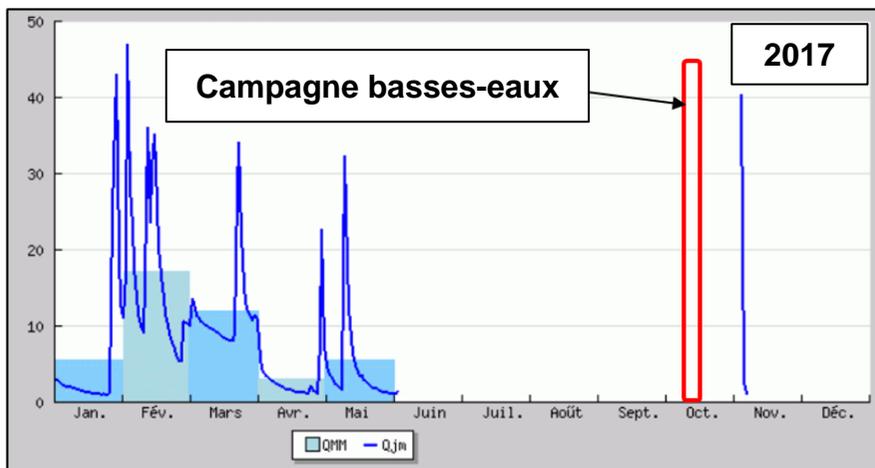
Etude des voies de transfert

Campagnes de prélèvement d'eaux et de sédiments

2 campagnes

- basses-eaux (BE) en octobre 2017
- hautes-eaux (HE) en mars 2018

Chronique des débits du Gardon d'Anduze



➔ représentativité considérée bonne

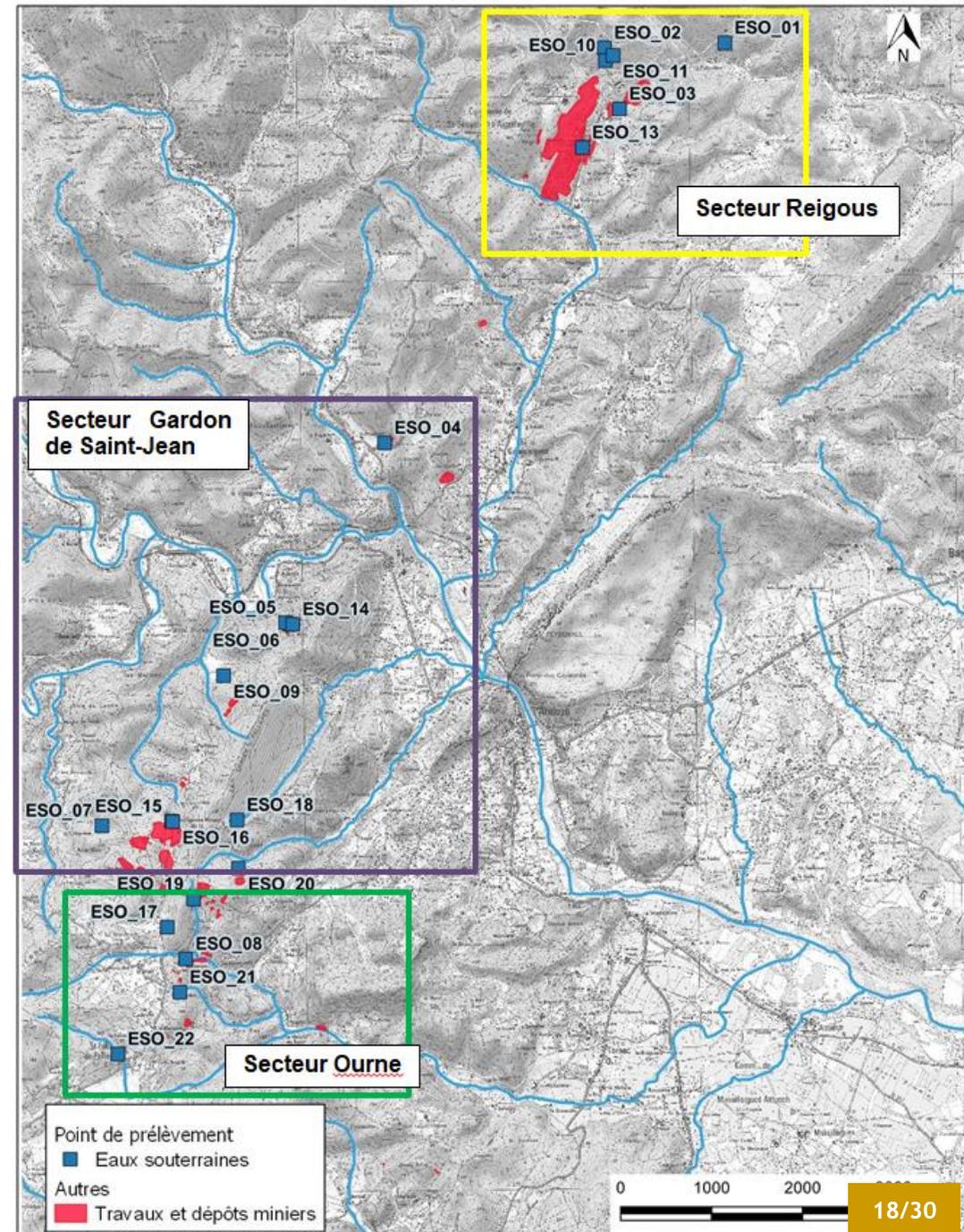
Impact sur les eaux souterraines

21 points de prélèvements

- 11 émergences minières
- 3 lixiviats de dépôts
- 4 sources
- 3 écoulements mixtes

Echantillonnage

- Mesures terrain (pH, conductivité, T°C)
- Prélèvements d'eau brute et filtrée à 0,45 µm
- Analyses en laboratoire (métaux et métalloïdes)



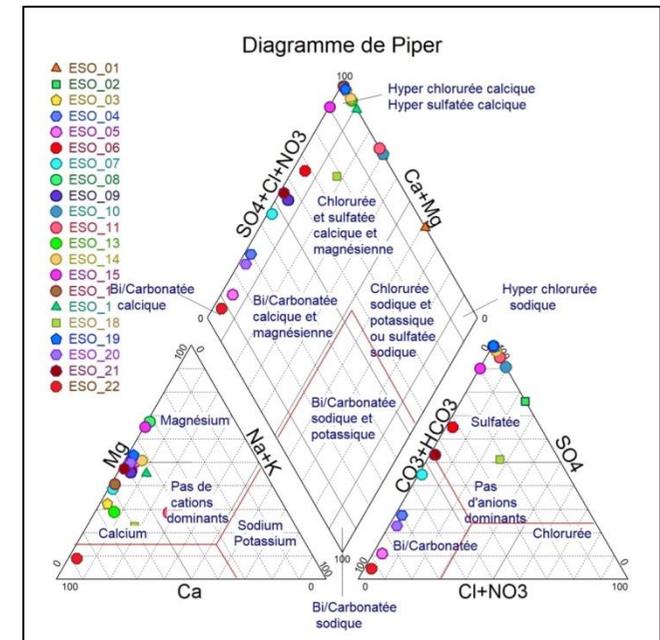
Impact sur les eaux souterraines

Faciès hydrochimique

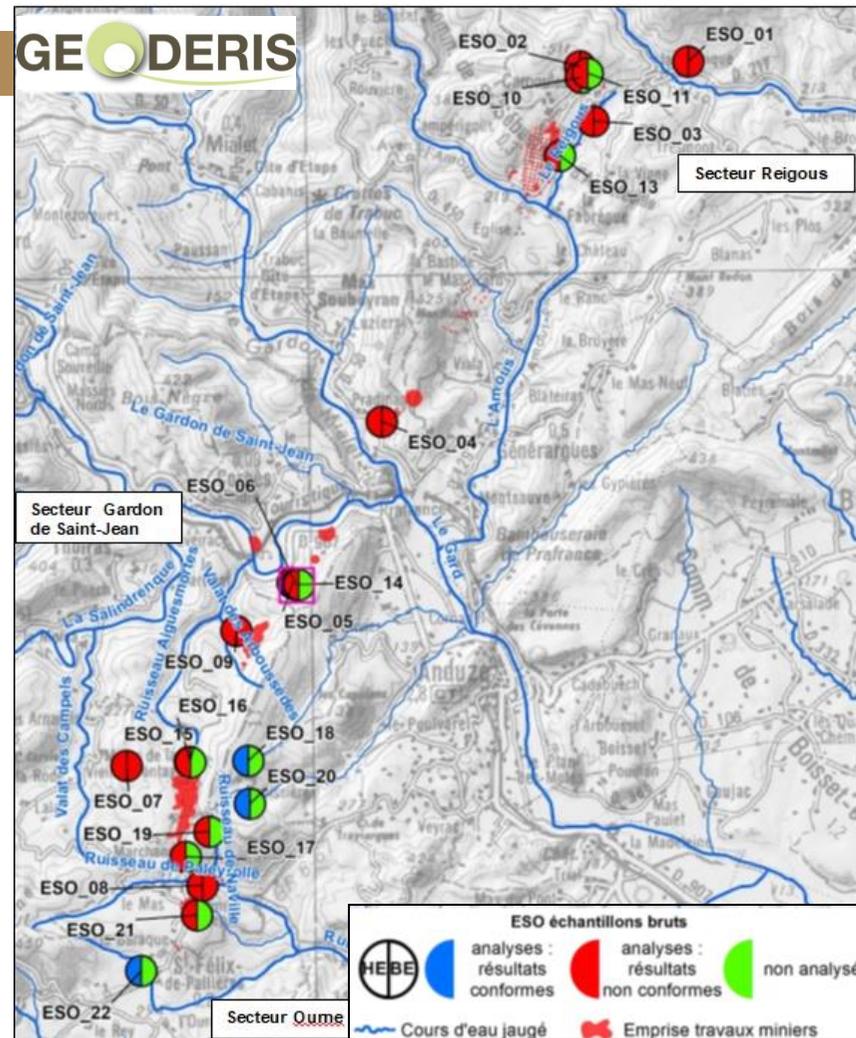
- en lien avec les lithologies sédimentaires (calcaires, dolomies, grés)
- en lien avec les granites/micaschistes (nord-est Carnoulès)

9 points particulièrement impactés par les anciens travaux miniers

- 8 points concernés par du Drainage Minier Acide (DMA)
- 1 point avec très forte minéralisation



Secteur	Point de prélèvement	Libellé	Débit (m³/h)	pH	Cond. (µS/cm)	Exutoire	Commentaire
Reigous	ESO_01	<u>Emergence - Mas d'Azon</u>	< 2	3,2	3 000	l'Alzon	Drainage minier acide
	ESO_03	Lixiviats – dépôt de résidus de traitement de Carnoulès	< 5	3,5	4 000	le Reigous	Drainage minier acide
	ESO_11	<u>Emergence 3 – Nord-est Carnoulès</u>	< 0,1	3,2	445	le Reigous	Drainage minier acide
	ESO_13	<u>Emergence Carnoulès - face aux Services Techniques</u>	< 10	2,6	1 820	le Reigous	Drainage minier acide
Gardon de Saint-Jean	ESO_15	Lixiviats - dépôts résidus de traitement	< 1	6,9	3 470	l' <u>Aiguemortes</u>	Très forte minéralisation
	ESO_16	Fossé - haldes face au dépôt de résidus de traitement	< 2	3,3	1 700	le <u>Paleyrolle</u>	Drainage minier acide
Ourne	ESO_08	Lixiviats - haldes Mine Joseph	?	2,3	6 000	le <u>Paleyrolle</u>	Drainage minier acide
	ESO_17	<u>Emergence - puits Pastré</u>	< 1	2,6	1 620	le <u>Paleyrolle</u>	Drainage minier acide
	ESO_19	Amont ruisseau de <u>Naville</u>	< 1	2,2	4 350	le <u>Paleyrolle</u>	Drainage minier acide



Nombreux points d'eaux souterraines impactés

Comparaison aux valeurs de référence

- Limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (arrêté du 11 janvier 2007)

Résultats d'analyses – eau brute

- Concentrations parfois élevées en métaux et métalloïdes
- Dépassement des valeurs de référence sur de nombreux points d'eau (émergences et lixiviats)

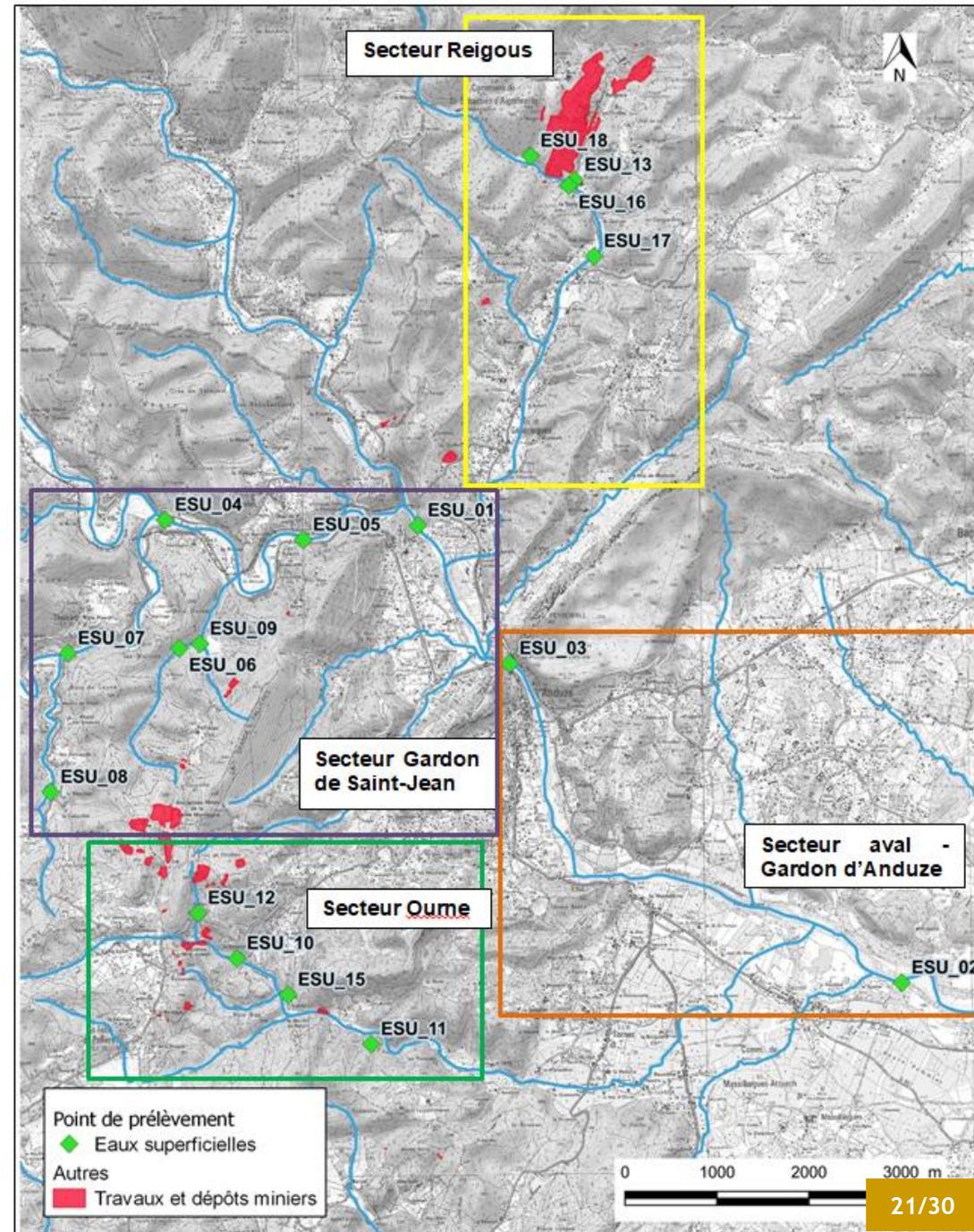
Paramètres	Unités	LQ	Limite et référence de qualité (arrêté du 11 janvier 2007)	PAL18_HE																					
				Secteur REIGOUS						Secteur GARDON DE SAINT-JEAN										Secteur OURNE					
				ESO_01	ESO_02	ESO_03	ESO_10	ESO_11	ESO_13	ESO_04	ESO_05	ESO_06	ESO_07	ESO_09	ESO_14	ESO_15	ESO_16	ESO_18	ESO_20	ESO_08	ESO_17	ESO_19	ESO_21	ESO_22	
Fluorures	mg/l	0,5	2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		
Aluminium (Al)	mg/l	0,05	0,2	5	0,30	18	3	8	52	0,17	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	2	<0,05	20	0,05	<0,05	38	21	39	<0,05	<0,05	
Fer (Fe)	mg/l	0,01	0,2	7,62	1,3	347	0,08	5,66	66	0,58	<0,01	0,20	0,5	5,27	34	0,15	10	0,02	0,01	231	37	501	5,3	0,05	
Antimoine (Sb)	µg/l	0,2	5	0,8	0,9	17	0,5	1,4	11	1,1	0,3	<0,20	0,3	1,2	0,4	1,7	0,7	<0,20	<0,20	0,4	3,1	0,6	5,8	<0,20	
Arsenic (As)	µg/l	0,2	10	77	10	25 400	5	19	645	2,3	0,6	0,9	8	17	19	3,7	7,9	0,6	0,4	7	16	47	16	0,4	
Baryum (Ba)	µg/l	0,2	700	49	93	22	85	52	10	62	69	48	6	30	79	20	20	102	123	2	19	11	6,7	4,1	
Cadmium (Cd)	µg/l	0,2	5	0,4	0,9	41	1,2	2,9	78	21	2,8	2,1	2,0	0,4	8	83	210	<0,20	<0,20	59	105	14	21	<0,20	
Chrome (Cr)	µg/l	0,5	50	0,6	<0,50	22	<0,50	3	7	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1	<0,50	4	<0,50	<0,50	27	5	45	<0,50	<0,50	
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1 000	320	138	401	512	3 240	479	4	<0,50	<0,50	<0,50	1	35	11	541	<0,50	<0,50	1 300	305	297	57	0,8	
Manganèse (Mn)	µg/l	0,5	50	19	169	3 110	153	226	2 520	25	2	17	103	422	356	158	1 250	7,1	<0,50	3 300	1 980	2 720	149	3,0	
Nickel (Ni)	µg/l	2	20	11	21	202	65	290	181	13	<2,00	2	3	5	29	19,6	67	<2,00	<2,00	115	67	114	18	<2,00	
Plomb (Pb)	µg/l	0,5	10	1 130	7	673	200	5	422	45	14	<0,50	1	20	11	139	742	<0,50	0,5	42	1 640	335	12	1,7	
Zinc (Zn)	µg/l	5	5 000	90	90	9 270	100	240	13 800	6 550	640	340	830	130	1 220	21 300	36 200	<200	<200	8 500	19 200	810	6 830	<200	
Mercuré (Hg)	µg/l	0,2	1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	

Impact sur les eaux superficielles

17 points de prélèvements

Echantillonnage

➤ *idem eaux souterraines*



Impact sur les eaux superficielles

Résultats d'analyses – eau filtrée à 0,45 µm - NQE

- Dépassement des NQE métaux et métalloïdes en étiage comme en hautes-eaux
- Concentrations qui décroissent d'amont en aval

Octobre 2017 : période d'étiage

Echantillon PAL17_BE																				
				Secteur REIGOUS				Secteur GARDON DE SAINT-JEAN						Secteur OURNE				Secteur GARDON D'ANDUZE		
Paramètre	Unité	NQE-MA	NQE-CMA	ESU_13-F	ESU_16-F	ESU_17-F	ESU_18-F	ESU_01-F	ESU_04-F	ESU_05-F	ESU_06-F	ESU_07-F	ESU_08-F	ESU_09-F	ESU_10-F	ESU_11-F	ESU_12-F	ESO_15-F	ESU_02-F	ESU_03-F
Arsenic	µg/l	0,83	-	2,2	4,9	15,5	à sec	6,3	10,9	7,8	2,3	5,3	2,4	à sec	0,4	0,5	à sec	0,2	5,9	5,7
Cadmium	µg/l	0,08 à 0,25	0,45 à 1,5	39	<0,2	<0,2	à sec	<0,2	<0,2	<0,2	0,7	<0,2	<0,2	à sec	2,6	<0,2	à sec	<0,2	<0,2	<0,2
Cuivre	µg/l	1,0	-	96	0,7	<0,50	à sec	<0,5	<0,5	<0,5	0,8	<0,5	0,8	à sec	1,3	1,1	à sec	<0,5	0,6	<0,5
Nickel	µg/l	4	34	360	<2	<2	à sec	<2	<2	<2	<2	<2	<2	à sec	3,9	<2	à sec	<2	<2	<2
Plomb	µg/l	1,2	14,0	321	1,3	1,21	à sec	<0,5	<0,5	<0,5	2,7	<0,5	<0,5	à sec	0,9	1,0	à sec	<0,5	<0,5	<0,5
Zinc	µg/l	8	-	10 600	30	39	à sec	<5	<5	17	178	<5	288	à sec	312	15	à sec	5	<5	7

Mars 2018 : période de hautes-eaux

Echantillon PAL18_HE																				
				Secteur REIGOUS				Secteur GARDON DE SAINT-JEAN						Secteur OURNE				Secteur GARDON D'ANDUZE		
Paramètre	Unité	NQE-MA	NQE-CMA	ESU_13-F	ESU_16-F	ESU_17-F	ESU_18-F	ESU_01-F	ESU_04-F	ESU_05-F	ESU_06-F	ESU_07-F	ESU_08-F	ESU_09-F	ESU_10-F	ESU_11-F	ESU_12-F	ESO_15-F	ESU_02-F	ESU_03-F
Arsenic	µg/l	0,83	-	264	0,9	10	3,1	4,7	2,6	5,5	1,2	2,7	1,2	<0,20	0,4	0,3	0,2	<0,20	4,1	5,5
Cadmium	µg/l	0,08 à 0,25	0,45 à 1,5	28	<0,20	1,2	9	<0,20	<0,20	<0,20	2,8	<0,20	0,5	<0,20	0,9	0,4	0,3	<0,20	<0,20	<0,20
Cuivre	µg/l	1,0	-	134	0,8	2	4	2,3	2,0	0,8	2,6	0,8	0,8	<0,50	5	1,5	1,4	0,5	1,3	1,5
Nickel	µg/l	4	34	76	<2,00	3	4,0	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	3	<2,00	<2,00	<2,00
Plomb	µg/l	1,2	14,0	277	0,5	<0,50	1,1	<0,50	<0,50	<0,50	4	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,6
Zinc	µg/l	8	-	5 730	30	150	1 020	<20	<20	<20	350	<20	180	<20	60	30	<20	<20	<20	<20

Légende

Dépassement de la valeur NQE-MA (concentration moyenne annuelle)

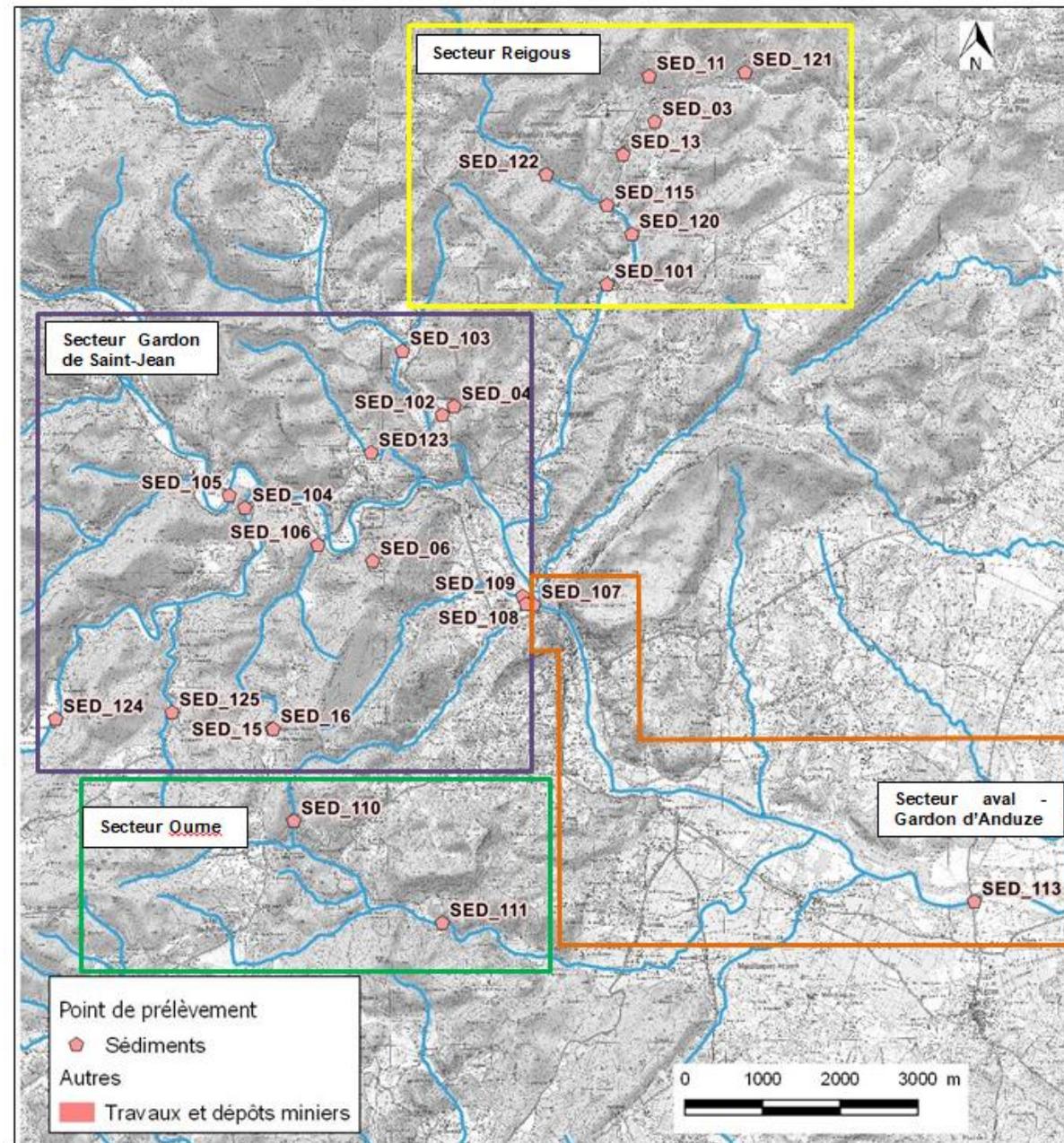
10 µg/l Dépassement de la valeur NQE-CMA (concentration maximale admissible)

Impact sur les sédiments

27 points de prélèvements

Echantillonnage

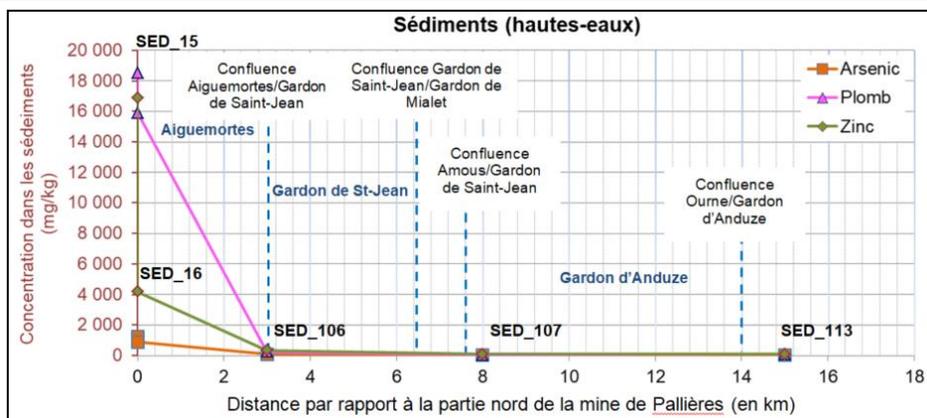
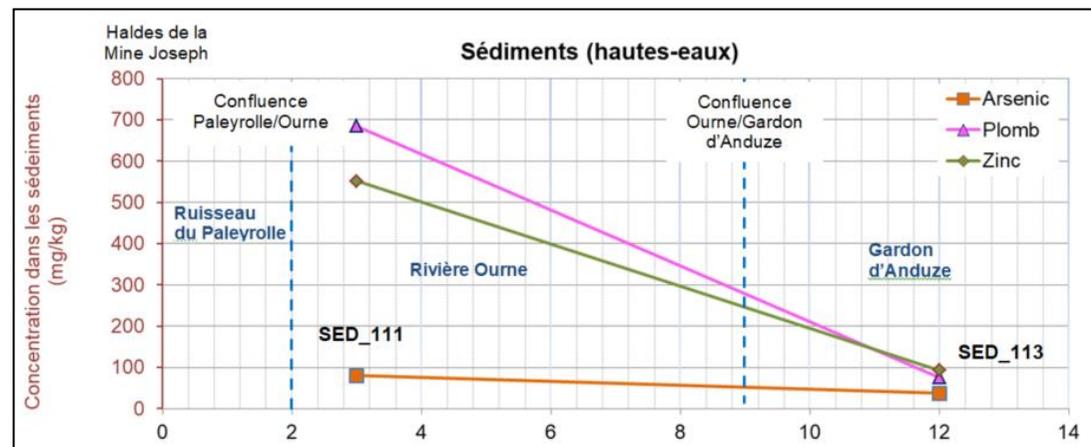
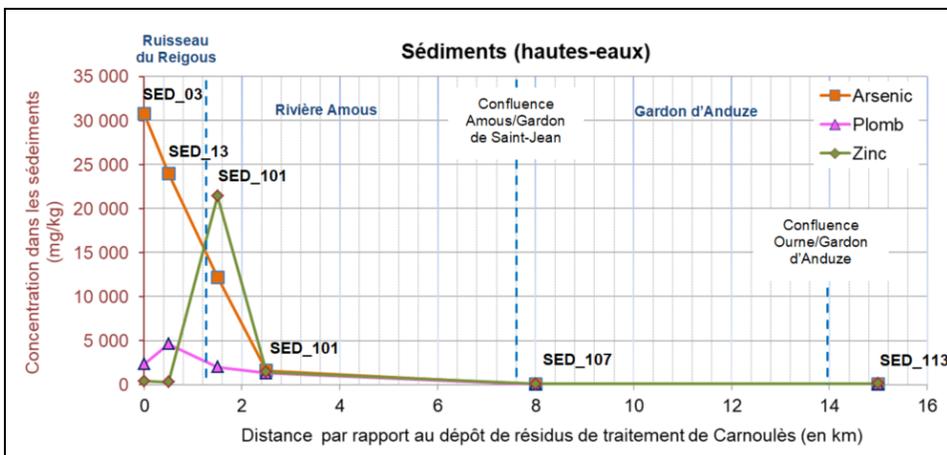
- Pelle à sédiment
- Fraction la plus fine possible



Impact sur les sédiments

Synthèse

- Teneurs très élevées en métaux et métalloïdes au niveau des zones de travaux miniers
- Tendence générale à la baisse vers l'aval



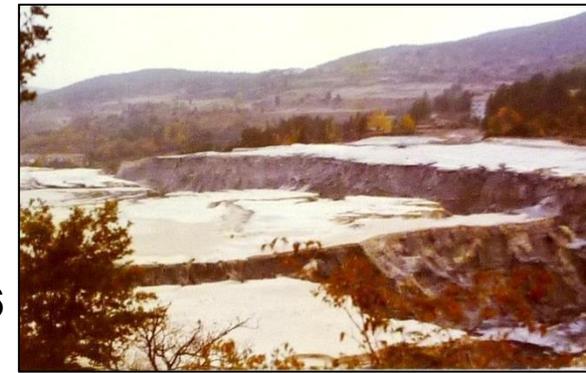
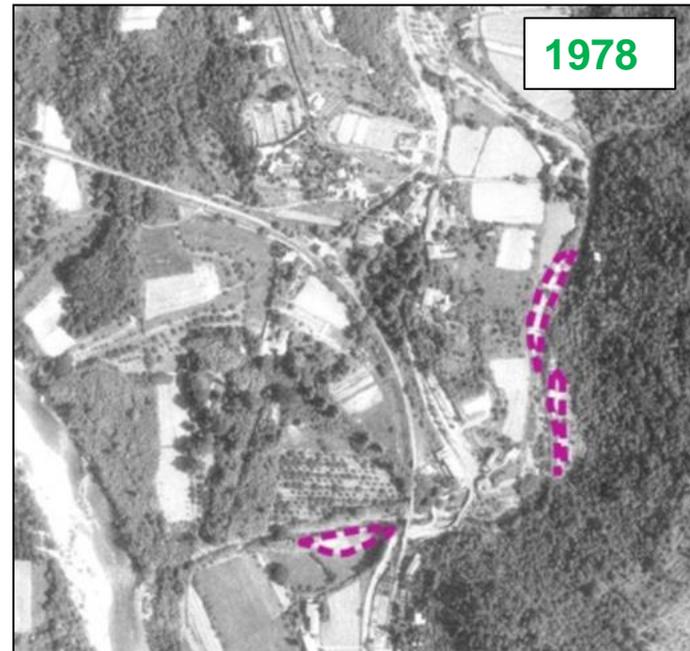
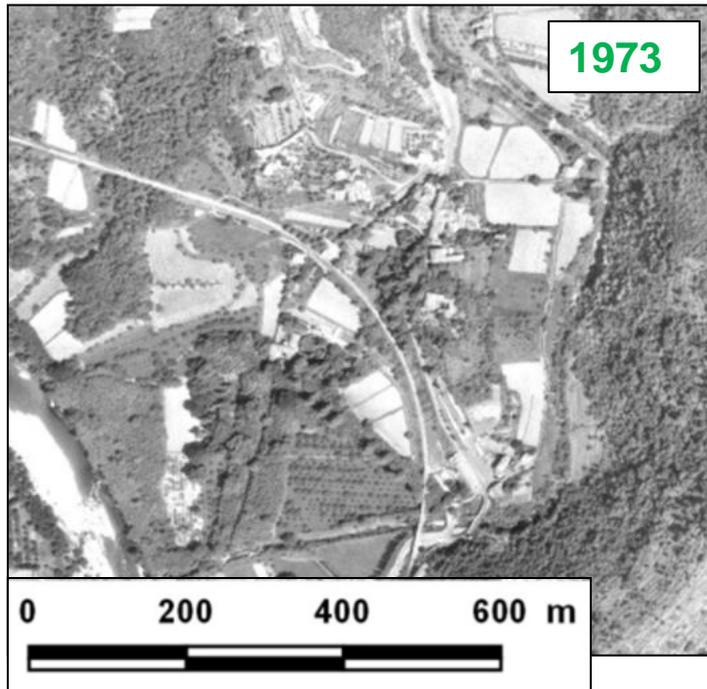
Incertitude : les particules fines, les plus chargées en métaux, sont rapidement diluées et transportées par les cours d'eau à débit important, ce qui rend difficile leur échantillonnage.

La présence de sédiments fins chargés en métaux en aval des cours d'eau n'est donc pas à exclure.

Cas particulier des berges de l'Amous

Episodes pluvieux de 1961 et 1976

- Ouverture de brèches, rupture des digues de Carnoulès
- Départ de résidus de traitement : 50 000 m³ en 1961 et 300 000 m³ en 1976
- Epandage à l'aval dans les lits du Reigous et de l'Amous
- Opérations de nettoyage en 1982 par la DDAF et l'ancien exploitant



La qualité environnementale des berges de l'Amous a été évaluée par GEODERIS en mars 2018

Cas particulier des berges de l'Amous

Résultats des investigations

- 24 Mesures pXRF et prélèvements de sols
- Echantillonnage à différentes profondeurs
- Résidus de traitement observé sur les berges



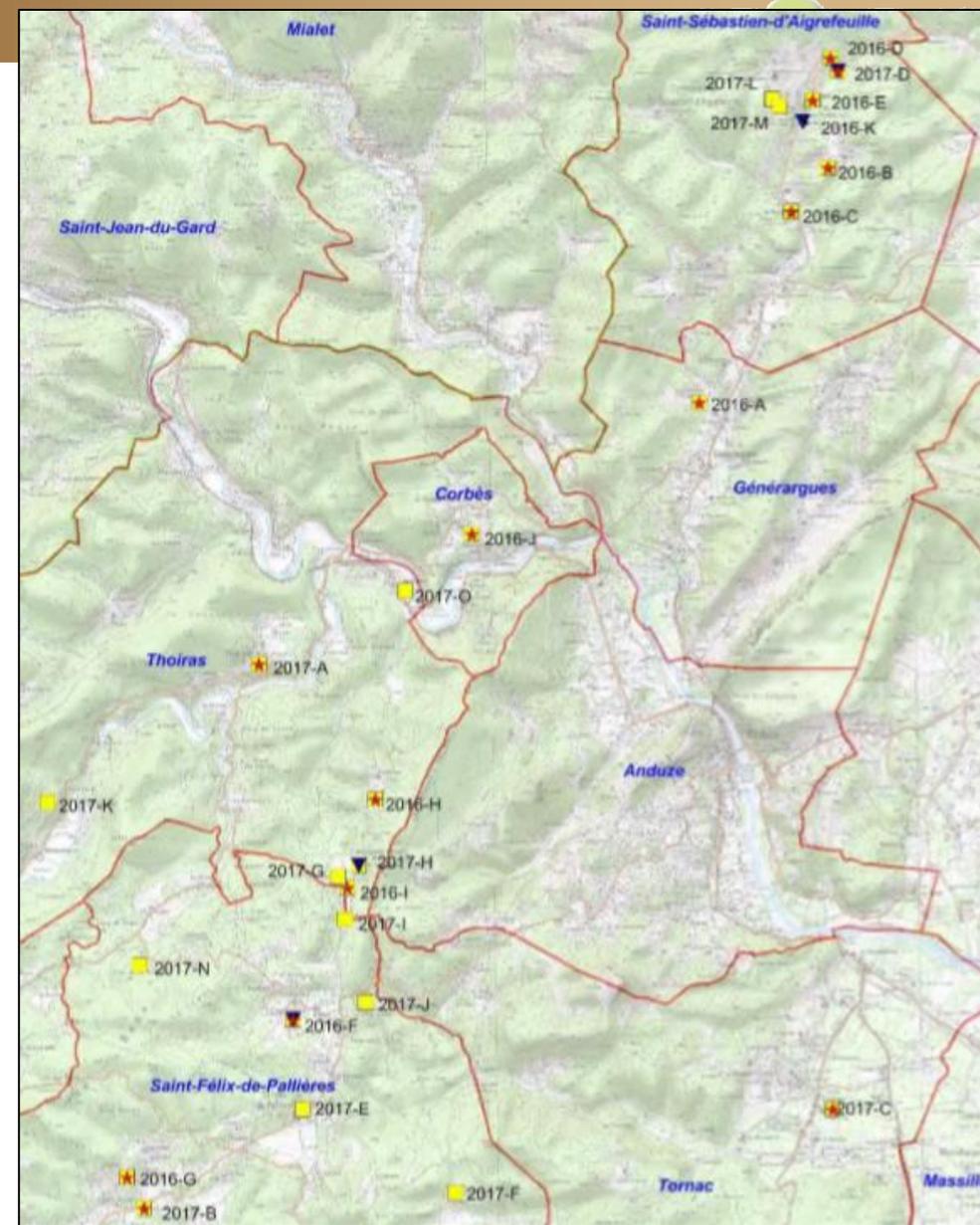
➔ Teneurs très élevées en métaux (plusieurs centaines à milliers de mg/kg Pb, As, Zn) depuis le Reigous jusqu'à la confluence avec le Gardon d'Anduze.

L'extension géographique et la profondeur des sols impactés n'ont pas été délimitées.

Impact sur la qualité de l'air

Echantillonnage

- Étés 2016 et 2017
- 14 points de mesures des particules PM_{10} ($< 10 \mu m$)
- 25 points de mesures des retombées de poussières



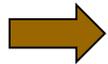
➔ Concentrations importantes en certains métaux (plomb notamment) au droit des dépôts miniers. Les autres emplacements présentent des concentrations en PM_{10} et des dépôts de poussières très faibles qui ne dépassent pas les limites réglementaires actuelles.

Etat d'avancement de l'étude sanitaire

Etat d'avancement de l'étude sanitaire

Investigations

- Aout et septembre 2018
- 29 zones auxquelles s'ajoutent 8 foyers prioritaires et non prioritaires
- Les foyers ayant fait l'objet d'un diagnostic spécifique habitation ADEME/ICF Environnement n'ont pas été intégrés à l'étude GEODERIS



Elaboration des scénarios d'exposition et calculs de risques sanitaires en cours.
Fin de l'étude sanitaire courant janvier 2019.

Merci pour votre attention