



La pollution aux éléments traces métalliques (ETM) sur le bassin versant des Gardons



**Assemblée générale de l'ADAMVM
Anduze**

14 février 2026

Petit et grand cycle de l'eau

Grand cycle de l'eau:

compétence GEMAPI*

Structures = EPTB ou EPAGE ou EPCI

Outils : SAGE, Contrats de rivière, PGRE-PTGE, PAPI,...



Petit cycle de l'eau : AEP, Assainissement
Structures = EPCI* (Com. Com. ou d'Agglo., SIAEP), Communes, Syndicats infra/inter-communautaires

*lois de décentralisation n° 2014-58 du 27 janvier 2014 (MAPTAM) et n° 2015-991 du 7 août 2015 (NOTRE). Compétence GEMAPI depuis le 1er janvier 2018. Petit cycle au 1^{er} jan. 2026

Le bassin versant des Gardons

Qu'est-ce qu'un bassin versant ?

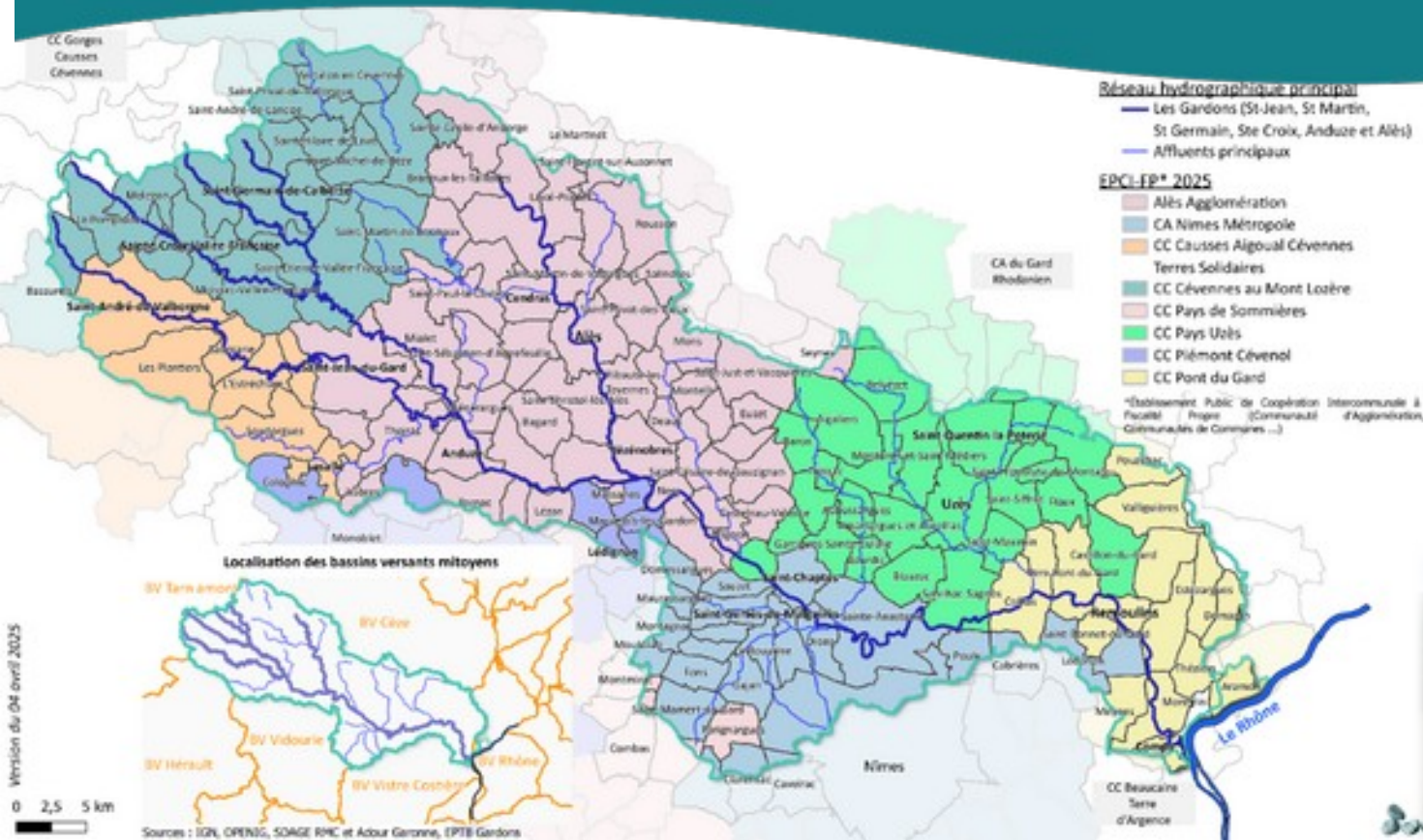
Territoire géographique correspondant à la surface qui reçoit les eaux qui circulent naturellement vers un même cours d'eau. Il est délimité par des lignes de crêtes et parcouru par les cours d'eau.



7 Gardons : de Saint Jean, d'Anduze, de Mialet, de Sainte Croix, de Saint Germain, de Saint Martin, d'Alès

144 km :
des sources cévenoles (1400 mNGF)
au Rhône (11 mNGF)

2000 km² - 171 communes - 200 000 habitants



5
thématiques
d'intervention



Le bassin versant des Gardons

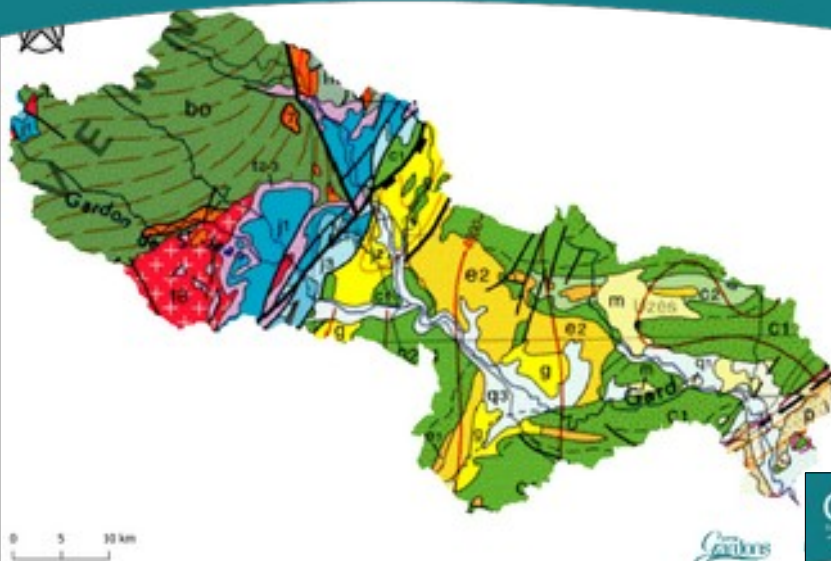


Figure 2 - Carte géologique du bassin versant des Gardons
(sources : carte géologique au 1/1 000 000 du BRGM)

3 grands types de formations géologiques :

- Amont, Cévennes : granites et schistes (imperméables).
- Médiane-aval : garrigues calcaires (+/- karstifiées)
- Piémont et aval: alluvions et mollasses (+/- aquifères).

Un territoire faiblement anthropisé :

Agriculture 21% S_{BV} (vignes 13%, céréales, maraîchage,

arboriculture)

Forêts : 50%

Urbanisation : 3 %

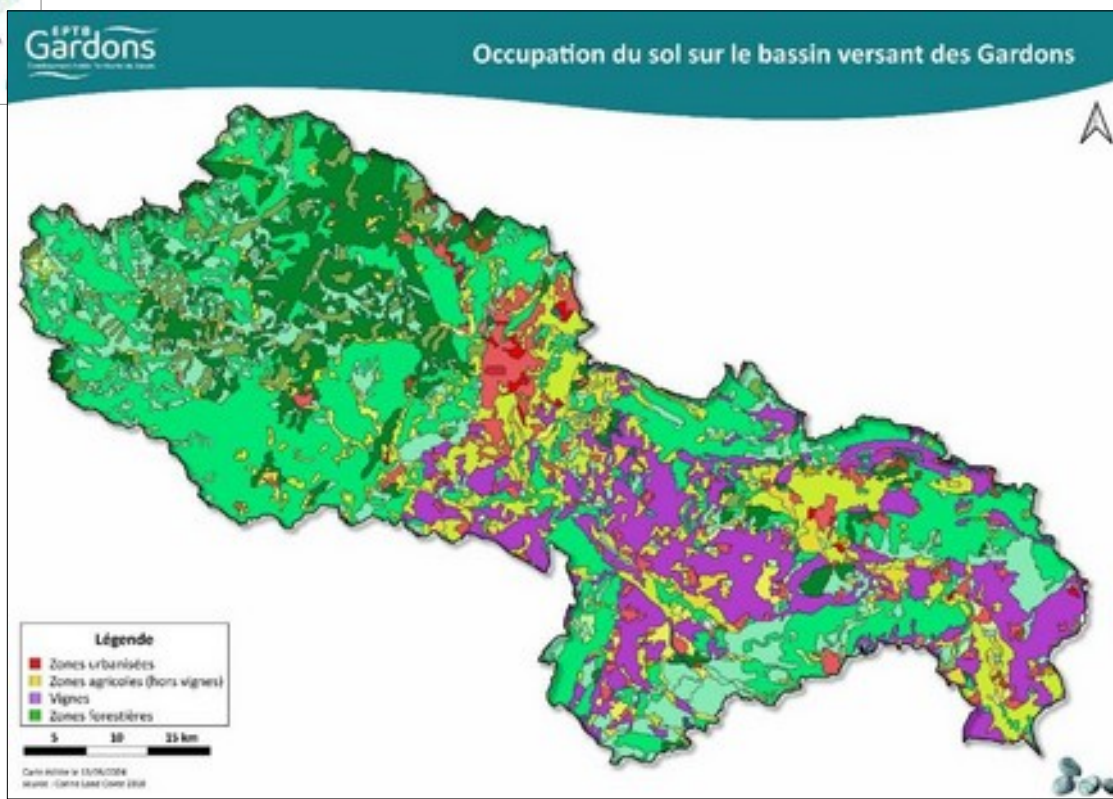
Des pressions historiques :

Mines (houille, métaux)

Industrie (Salindres)

Agriculture

Extractions matériaux



Le bassin versant des Gardons

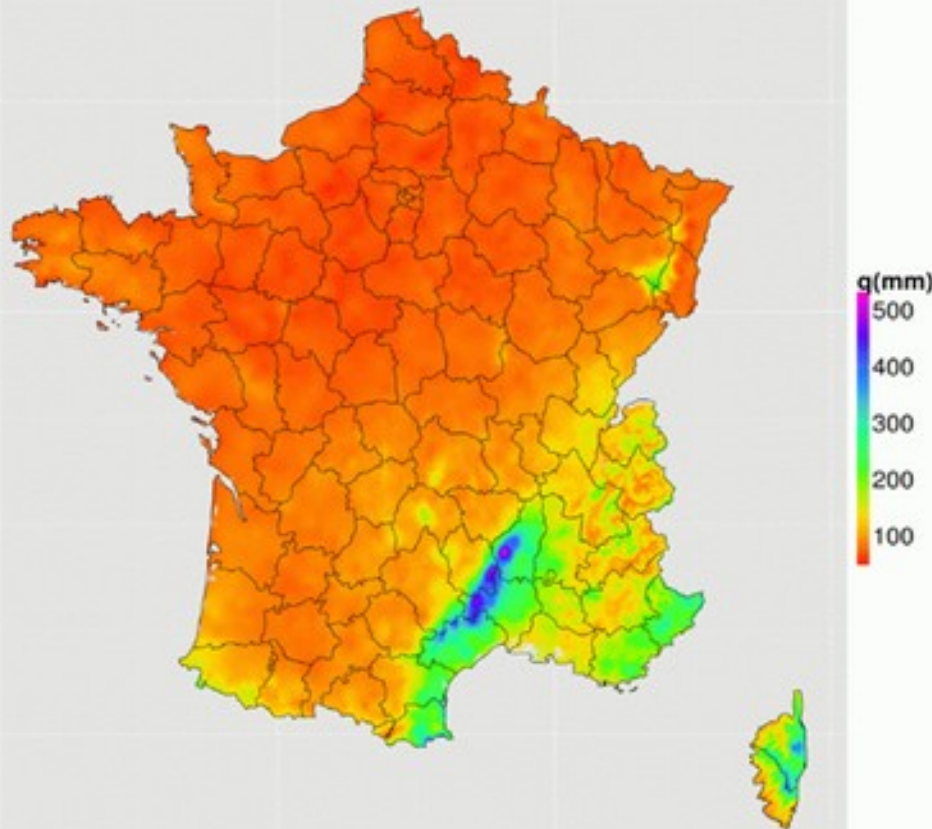
**METEO FRANCE**

Toujours un temps d'avance



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS
Méthode SHYREG

SHYREG - 24 heures - Durées Retour 50 ans



➔ **Risque inondation :
la spécificité cévenole**

Sur l'ensemble de la France
un épisode de **période de retour 50 ans**
correspond à
une pluie inférieure à **100 mm en 24 h.**

Pour notre territoire,
cette même période de retour correspond à
une pluie de **200-300 mm/24h**
et culmine à **400-500 mm/24h** (ligne Aigoual –
Montagne ardéchoise)

Le bassin versant des Gardons

UN CHANGEMENT CLIMATIQUE

**Un réchauffement avéré,
qui va s'amplifier**

+ 1,7° en moyenne depuis 1960
dans le Gard
+ 4° supplémentaires d'ici 2100

+ 2,1°C pour le secteur Cévennes
+ 1,4°C pour le secteur Garrigues et plaines + ceinture
rhodanienne
+ 1,7°C pour le secteur Camargue

**Des précipitations
en baisse l'été,
plus nombreuses
et plus violentes
en hiver**

**Des ressources en eau
à la baisse**

-30 à -50 % des débits
des cours d'eau l'été
Baisse de la recharge
des nappes

INÉLUCTABLE

**Une hausse
des besoins en eau
des plantes**

**Une hausse du niveau
de la mer**

+ 0,8 à 1 m en 2100

Le climat gardois :

2050 = semblable à
l'Andalousie

2100 = semblable à
l'Afrique du Nord

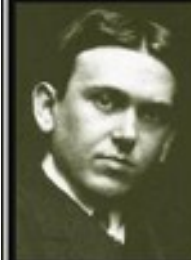
Etude eau et
climat 3.0 –
CD30 –
BRLi/Hydrofis

<https://eauclimat.gard.fr/>



*Baignade du
Martinet, Gardon de
Sainte-Croix*

Comment elle est, l'eau de la rivière ?



Il existe pour chaque problème complexe une solution simple, directe et fausse.

(H. L. Mencken)

qq citations

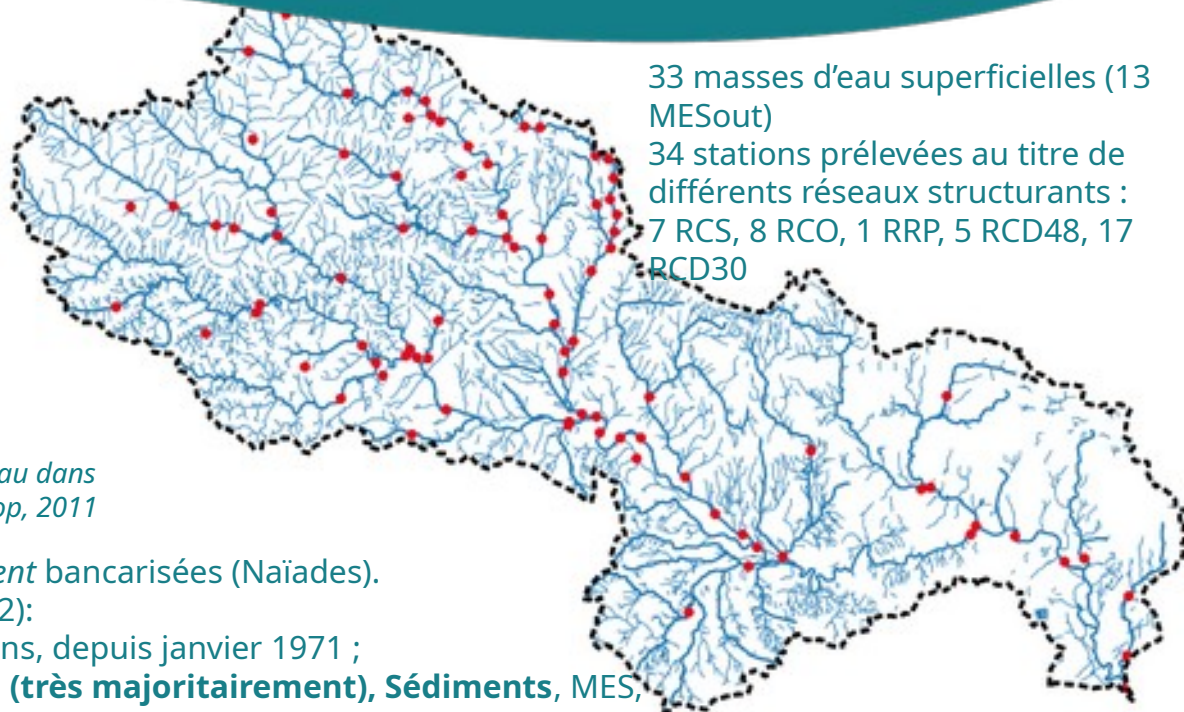
VIGILANCE NECESSAIRE :

- Qui a produit la donnée, dans quel contexte et avec quels objectifs ?
- Quel protocole ? Quelles limites d'analyse, de prélèvement, de représentativité des valeurs ?
- Quel référentiel toxicologique ?

Réseaux de suivi environnemental



Prélèvement d'eau dans l'Avène, Aquascop, 2011



33 masses d'eau superficielles (13 MESout)
34 stations prélevées au titre de différents réseaux structurants :
7 RCS, 8 RCO, 1 RRP, 5 RCD48, 17 RCD30

Toutes les données publiques sont *normalement* bancarisées (Naiades).

Sur les Gardons (données extraites à dec. 2022):

- **Plus d'un million de données** sur 77 stations, depuis janvier 1971 ;
- **1 500 paramètres** sur **10^{aine} matrices** : **Eau (très majoritairement)**, **Sédiments**, MES, poissons, gammares,...
- Plusieurs catégories de données :
 - **physico-chimie** (O2d, PO4, NO3, t°, C, COT,...),
 - **bactériologie** (germes fécaux) depuis 2011,
 - **micropolluants minéraux** (métaux et métalloïdes) depuis 1987,
 - **micropolluants organiques** (pesticides, pharmaceutiques, HAP, PCB, PFC,...), depuis 1995 (PCB, Pesticides, Hydrocarbures, solvants, dioxynes)
 - **Indices biologiques** : diatomées (2001), macrophytes (2008), macroinvertébrés (1988), poissons (2005), gammares (2018),...

A quoi s'ajoutent des données *non* bancarisées :

- études d'amélioration de la connaissance (EPTB-EPAGE, Etat, Fédérations de pêche,...)
- études d'impacts réglementaires (STEU, ouvrages, ...)
- Travaux de recherches (CNRS,...)
- contrôle sanitaire (baignade, ARS) → non bancarisé sur naiades mais sur le site dédié

Indices biologiques



Analyse de l'eau :
Physicochimie
(> 1000 paramètres)

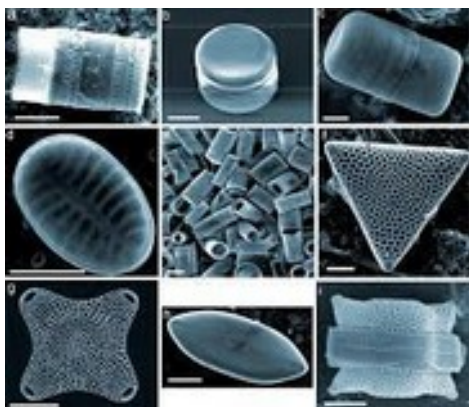
Indices biologiques : analyser la composition d'une population (nombre et type d'espèces, abondance) pour en déduire la qualité de l'eau et du milieu.

- **Diatomées** : IBD (indice biologique diatomées);
- **Poissons** : IPR (indice poisson rivière);
- **Végétaux** supérieurs : IBMR (Indice Biologique Macrophyte Rivière)
- **Macroinvertébrés** : IBG (indice biologique global)
- **Chironomes**

Gammares : tests alimentation, neurotoxicité, reprotoxicité, perturbation endocrinienne, bioaccumulation...

Chair de poisson : bioaccumulation

Diatomées
(microscope)



Pêche électrique



Réalisation
d'un IBMR



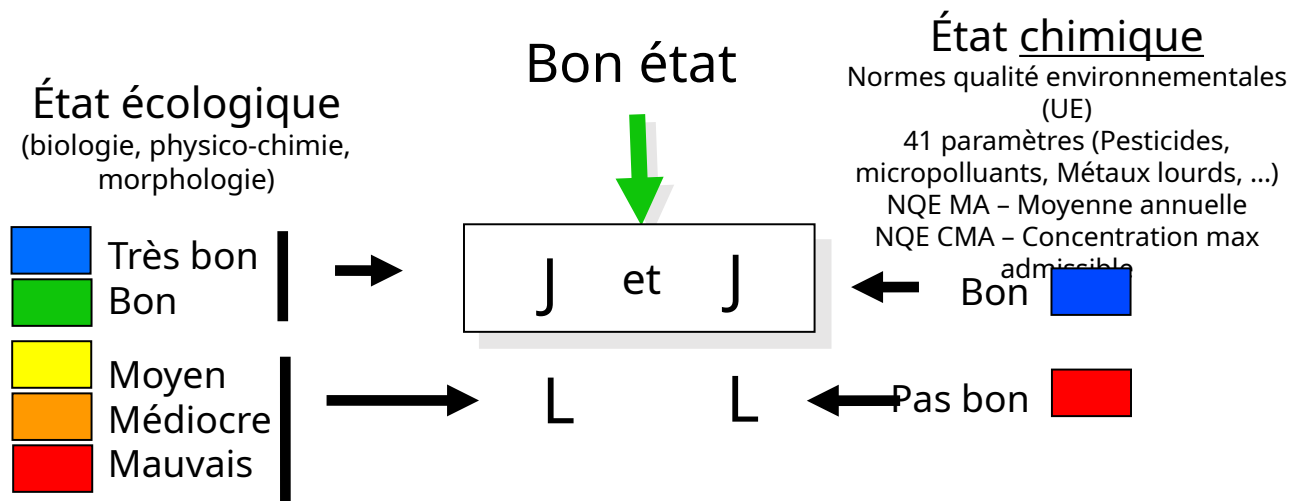
Réalisation
d'un IBG



La Directive Cadre Européenne



Résurgence
dans le Gardon
dans les gorges



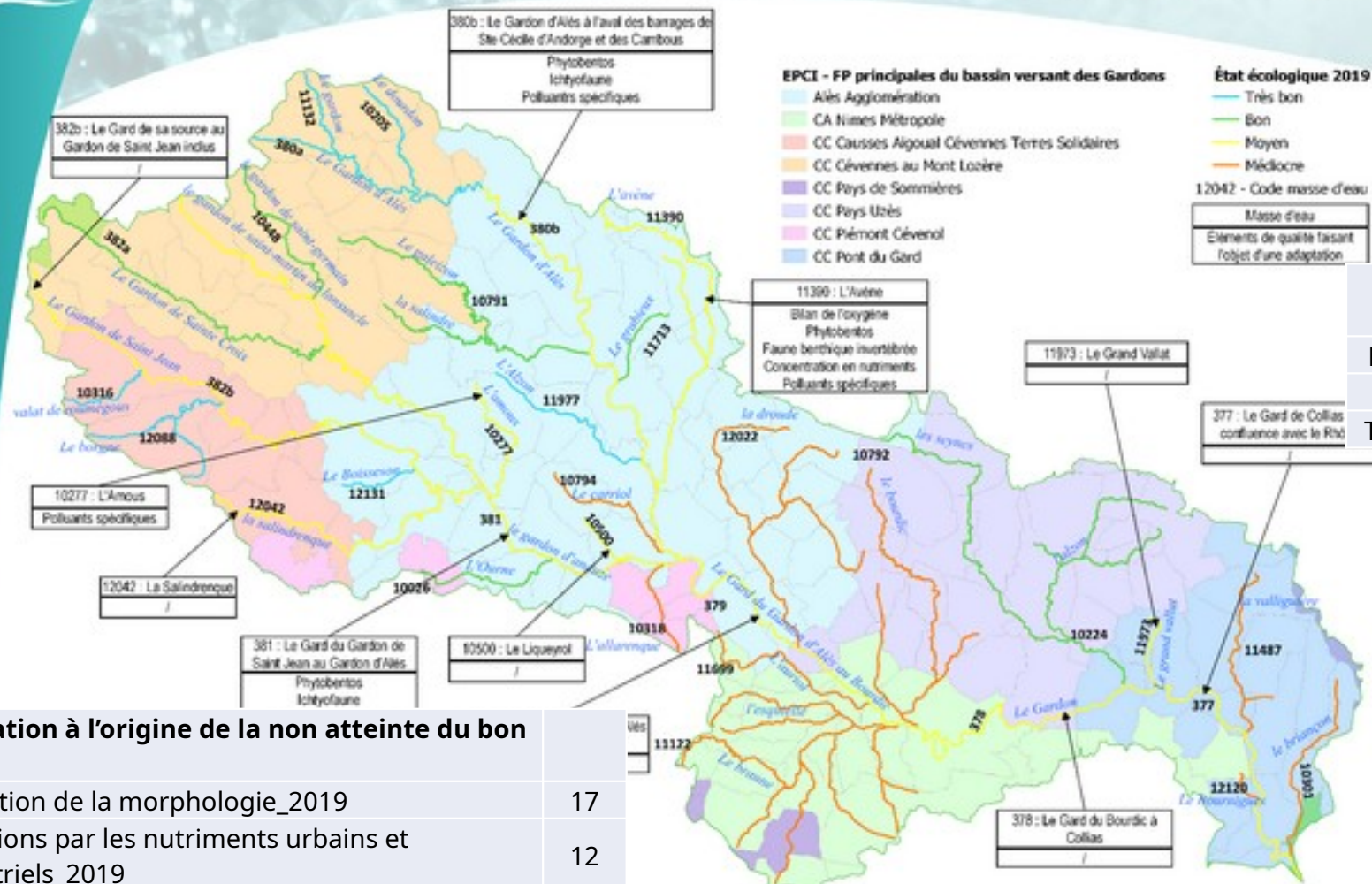
Le bon état d'une eau de surface : La DCE définit le "bon état" d'une masse d'eau de surface lorsque l'état écologique et l'état chimique de celle-ci sont au moins bons.

L'état écologique d'une masse d'eau de surface résulte de l'appréciation de la **structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques** associés à cette masse d'eau. Il est déterminé à l'aide **d'éléments de qualité : biologiques** (espèces végétales et animales), **hydromorphologiques** et **physico-chimiques**, appréciés par des indicateurs (par exemple les indices invertébrés ou poissons en cours d'eau). Pour chaque type de masse de d'eau (par exemple : petit cours d'eau de montagne, lac peu profond de plaine, côte vaseuse...), il se caractérise par **un écart aux « conditions de référence »** (conditions représentatives d'une eau de surface de ce type, pas ou très peu influencée par l'activité humaine).

L'état chimique d'une masse d'eau de surface est déterminé au regard du **respect des normes de qualité environnementales** (NQE) par le biais de valeurs seuils. 45 substances sont contrôlées dont 21 « dangereuses prioritaires ».

La Directive Cadre Européenne

État écologique des masses d'eau superficielles (2019) - Carte 2 sur 2



Nombre de RNAOE 2027

Non	10
Oui	23
Total	33

Altération à l'origine de la non atteinte du bon état

Altération de la morphologie_2019	17
Pollutions par les nutriments urbains et industriels_2019	12
Pollutions par les pesticides_2019	11
Prélèvements d'eau_2019	11
Altération du régime hydrologique_2019	10
Pollutions par les substances toxiques (hors	6

Méditerranée Corse
2022-2027)

Juin 2021

Les sources d'ETM sur les Gardons

Travaux miniers recensés depuis le XIX^{ème} siècle 24

SMAGE
des Gardons
www.lesgardons.com

Substances exploitées

■	Houille
■	Autres substances

Secteur cévenol : petits gisements historiques dispersés

(Sb, Ag, Fe, Pb, Ag, Cu, Zn, As, Ba)

Cours d'eau : potentiellement tous les cours d'eau

cévenols : pollutions ponctuelles sur de très petits cours d'eau

Secteur Nord d'Alès :

- Nord d'Alès : études en cours (Géodérès)
 - la plateforme chimie de Salindres (Axens, Solvay, Rio Tinto) : site Seveso et ICPE
 - Bassin des boues rouges de Ségoussac
- Cours d'eau : Avène (= point noir régional) + Affluents du Grabieux

Secteur d'Anduze :

Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille (Pb, Ag) et Croix de Pallières (Pb, Zn, Ag, Ge)

Cours d'eau : Amous + Ourne + aval des Gardons de Saint-Jean et Mialet + Gardon d'Anduze

Paramètres : 25 métaux et métalloïdes.
10 possèdent des normes SEQ-Eau et/ou NQE (Al, Sb, As, Cd, Cr, Cu, Sn, Hg, Pb et Zn).
Problématique des normes pour les

Détection :
Eau filtrée
Sédiments
Bryophytes
Gammare
Diatomées

0 4500 m
2250
Conception et réalisation
avril 2010
FL34 06 060

Sources : BD CARTHAGE, CORINE LAND COVER - Données : GEODERIS, DREAL

Métaux : sites majeurs d'émission



Croix-de-Pallières



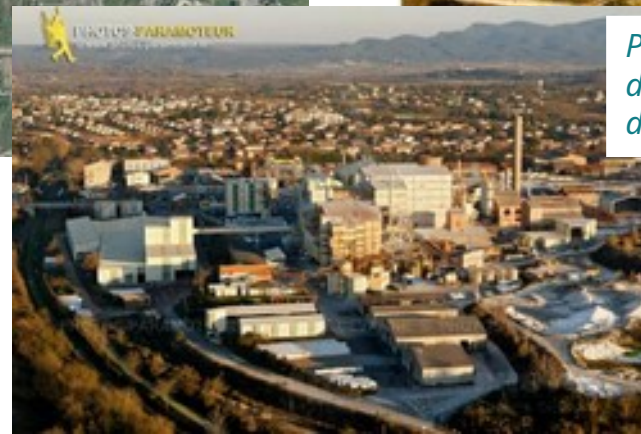
*Saint-Sébastien-
d'Aigrefeuille*



*Plateforme chimique
de Salindres et bassin
de Ségoussac*



Stériles miniers en 1974 (source: HSM)



② Les drainages miniers acides (DMA)

Zone d'extraction des minerais métalliques en galeries souterraines ou à ciel ouvert selon la période

Stériles miniers: sables riches en sulfures, arsenic et métaux



Carte de l'ancien site minier de Carnoulès (geoportail.gouv.fr)
Recherche d'indices potentiels au niveau des anciennes carrières et sur le parking en face de l'école

Ruisseau
le Reigous
riche en
arsenic et
métaux,
pH acide



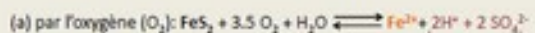
Le ruisseau du Reigous prend sa source au pied de la digue (source: HSM)



Les drainages miniers acides se forment lorsque de l'eau entre en contact avec des déchets miniers riches en sulfures

➤ Comment se forment les DMA?

- Les stériles contiennent des minéraux sulfurés tels que la pyrite (FeS_2)
- Au contact de l'air et l'eau, la pyrite va être oxydée :



acide sulfurique



acide sulfurique



Sables à sulfures (résidus de traitement du minerai de Pb-Zn ; l'oxydation est reflétée par la couleur rouge-orangé (source: HSM))

➢ Conséquences de l'oxydation de la pyrite : acidification (formation d'acide sulfurique)

- La pyrite contient 2-4 % d'arsenic (As) ainsi que des métaux (Pb, Zn, ...); ces éléments toxiques sont libérés lors de l'oxydation de ce minéral
- Les bactéries « thio-oxydantes » catalysent cette réaction en oxydant les sulfures présents dans la pyrite
- A pH acide, les bactéries « ferro-oxydantes » amplifient ce processus de plusieurs ordres de grandeur en régénérant le Fe^{3+} (oxydation du Fe^{2+} en Fe^{3+})

➤ L'arsenic



Il existe des DMA partout dans le monde. A cause de leur acidité et de la présence d'éléments métalliques, tous les DMA sont toxiques.

Les DMA de Carnoulès se distinguent par leur teneur particulièrement élevée en arsenic.



Qu'est ce que l'arsenic?

L'arsenic est un métalloïde naturellement présent dans la croûte terrestre. Les concentrations moyennes dans les eaux douces de la planète sont de l'ordre de 1 $\mu\text{g/l}$. Dans le Reigous il y en a jusqu'à 300 000 fois plus!

Toxicité de l'As

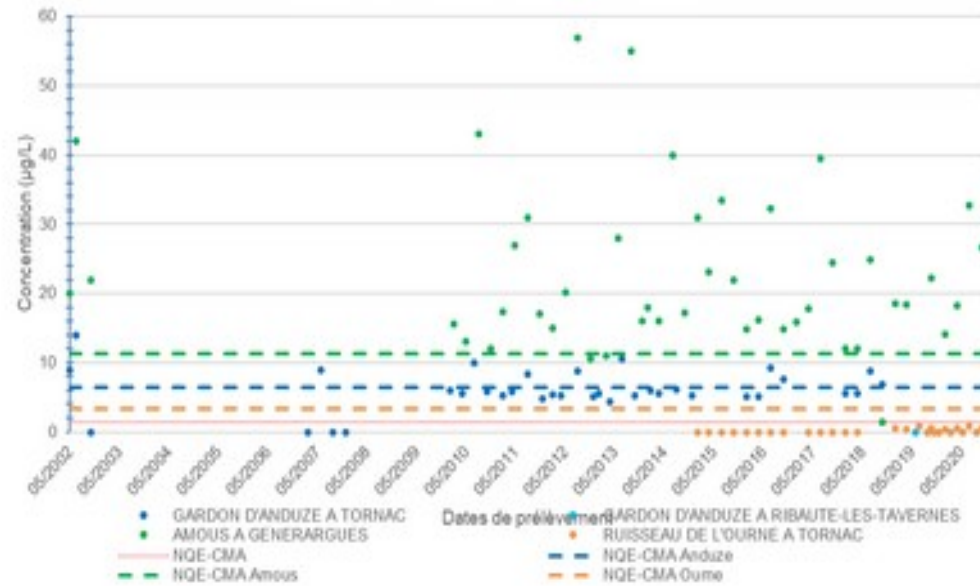
Par voie orale ou par inhalation, une exposition chronique à l'arsenic peut avoir divers effets sur la peau, le système respiratoire, cardiovasculaire, neurologique, gastro-intestinal, sanguin. L'arsenic est aussi cancérigène.

En résumé

Les eaux qui entrent en contact avec les déchets riches en sulfures s'acidifient et se chargent en éléments toxiques
Les micro-organismes contribuent activement à la formation des DMA
Leurs capacités sont d'ailleurs utilisées dans l'industrie pour l'extraction de métaux (on parle alors de « biolessivage »)

Dans l'eau filtrée : As

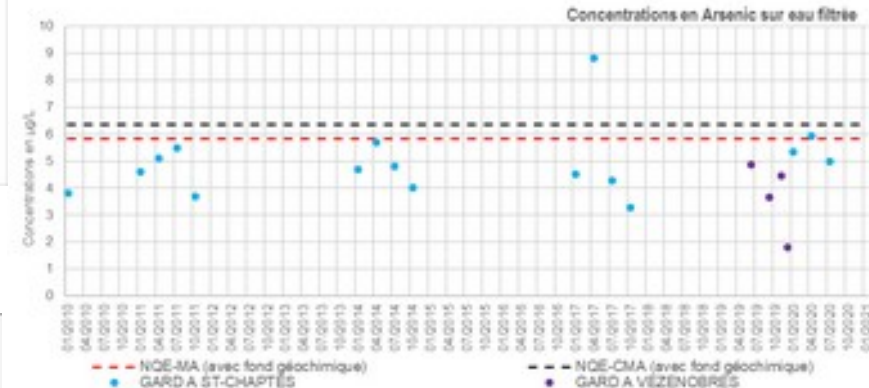
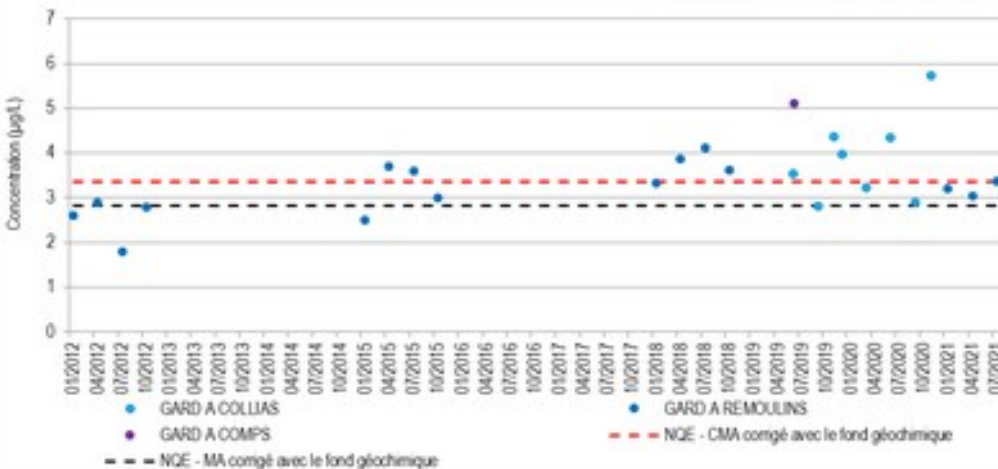
Concentrations en Arsenic sur eau filtrée



Chronique des concentrations en Arsenic dans l'eau filtrée



Concentrations en Arsenic sur eau filtrée



Sur **eau filtrée** : [As] > NQE

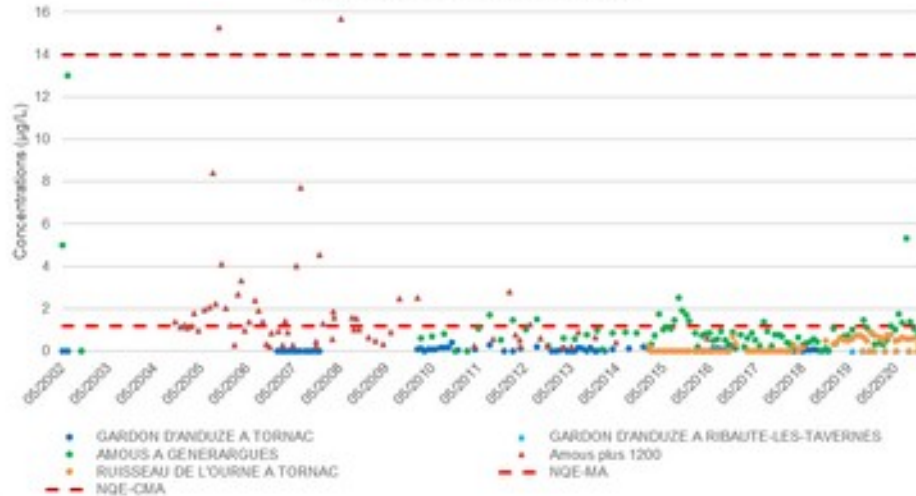
- sur l'Amous (20-60 µg/L) et
- sur le gardon d'Anduze à Tornac (5-10 µg/L)
- Sur le Gardon à Remoulins ou Comps (3-6 µg/L)

Normes :

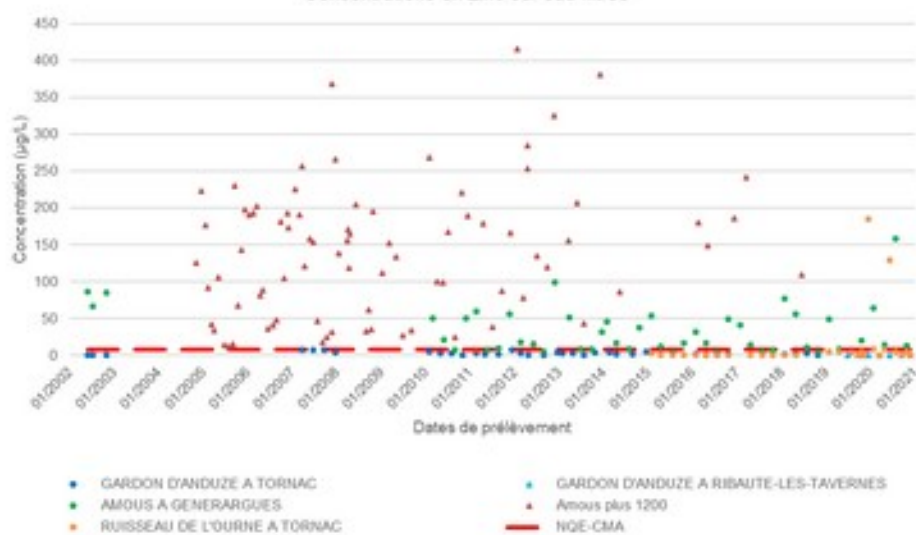
- Potabilité : 10 µg/L
- NQE-CMA = 1,37 µg/L et NQE-MA = 0,83 µg/L +Fond géochim.

Dans l'eau filtrée : autres métaux

Concentrations en Plomb sur eau filtrée



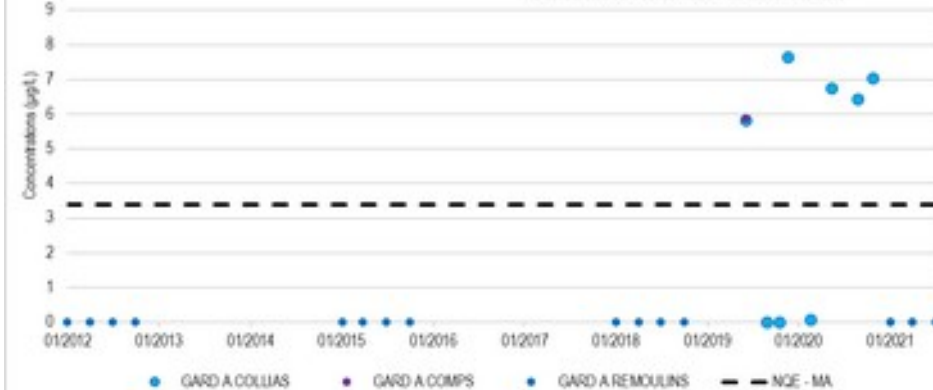
Concentrations en Zinc sur eau filtrée



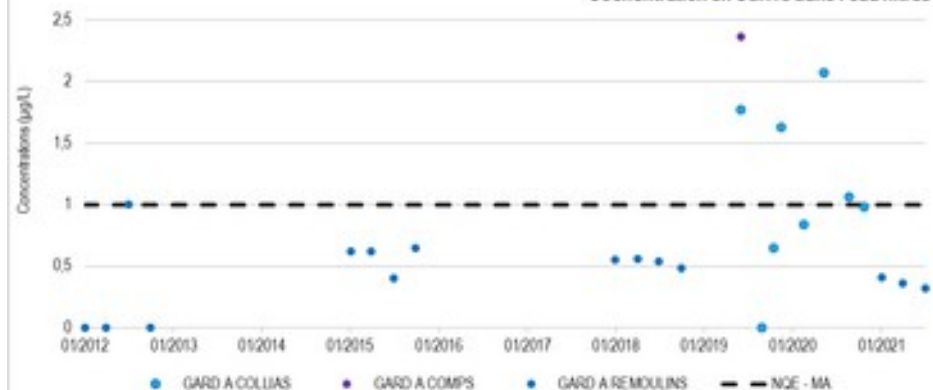
En dehors de l'As et sur **eau filtrée**, des problématiques (sans dépassement des NQE ou des normes AEP) :

- Pb, Zn, sur l'Amous
- Hg très ponctuellement sur le gardon d'Anduze à Tornac
- Cr, Ni, Zn sur le Gardon d'Alès
- Hg très ponctuellement dans la Gardonnenque
- Cr et Cu sur le Bas-Gardon

Concentration en Chrome dans l'eau filtrée



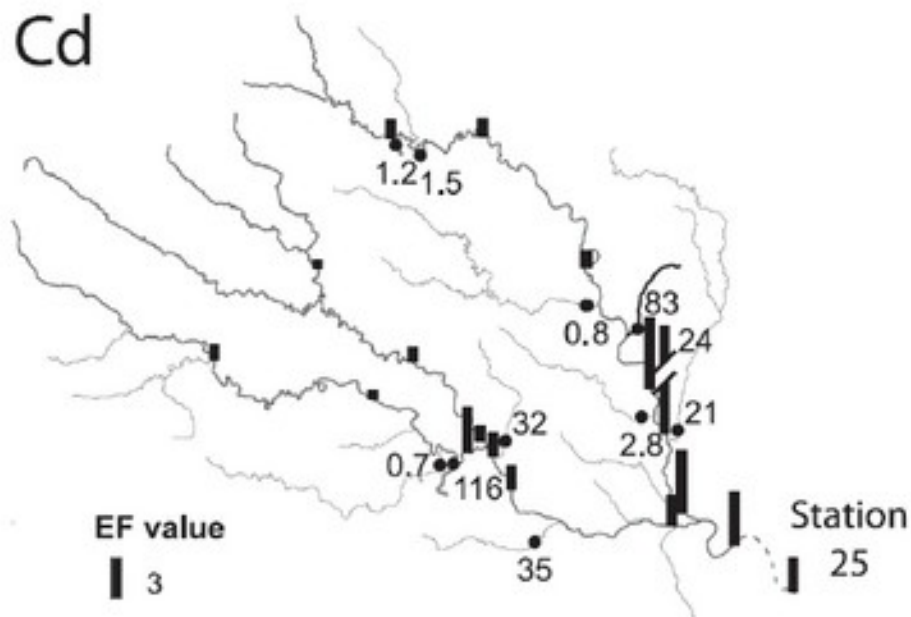
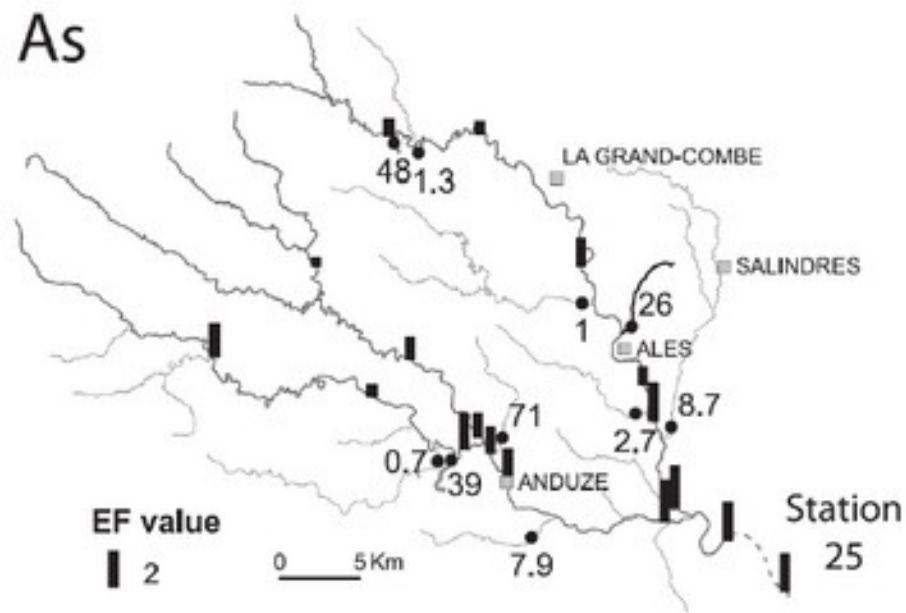
Cocncentration en Cuivre dans l'eau filtrée



Métaux : pollution des sédiments

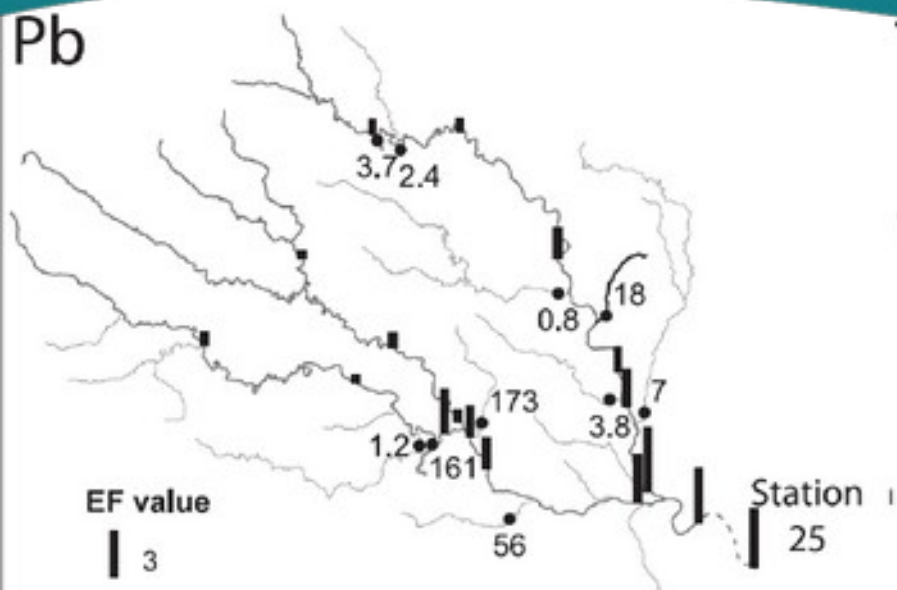
Etude CNRS (Resongles, HSM, 2012)

- Augmentation des EF $\times 2$ à 4 sur les Gardons à l'aval des effluents miniers (Pb, Zn, As, Cd, Hg, Tl...)
- Enrichissements en Sb et Hg surtout sur le Gardon d'Alès

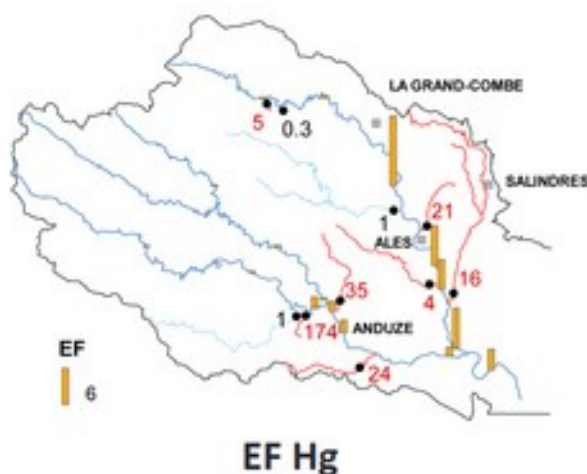
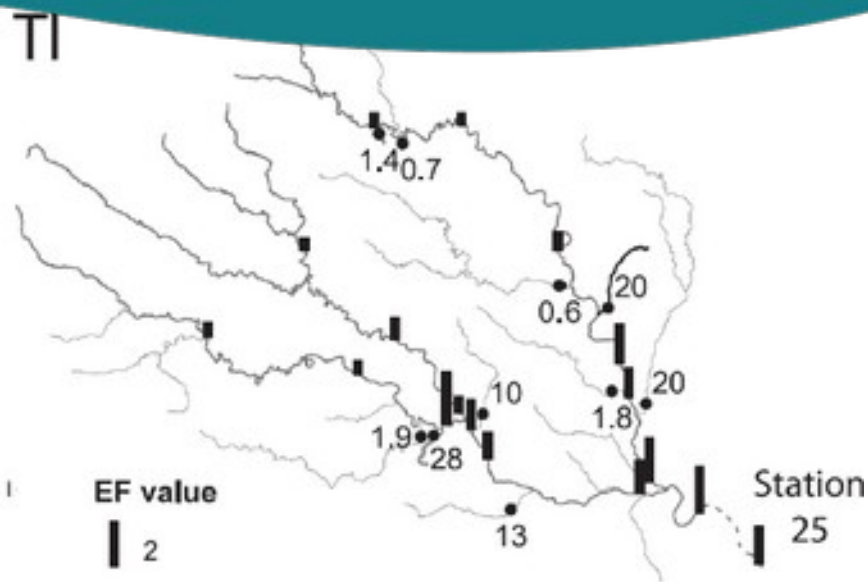


Métaux : pollution des sédiments

Pb



Tl



EF Zn

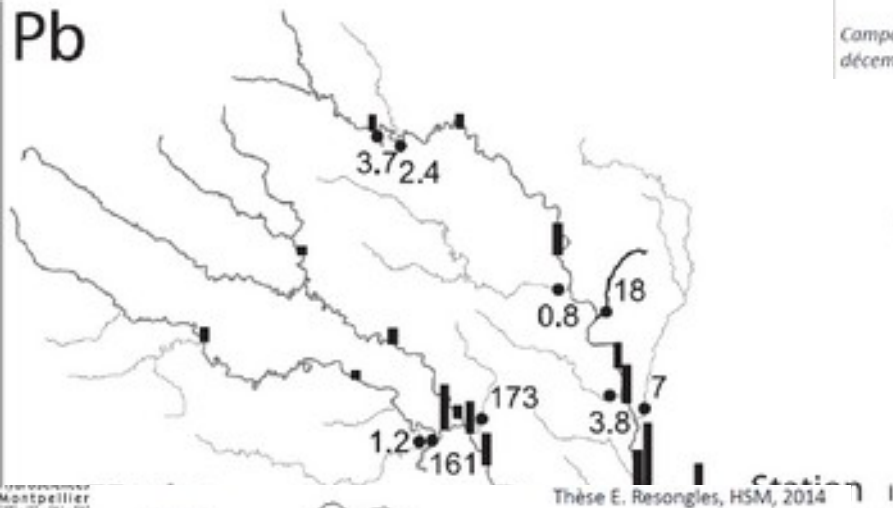


Métaux : pollution des sédiments

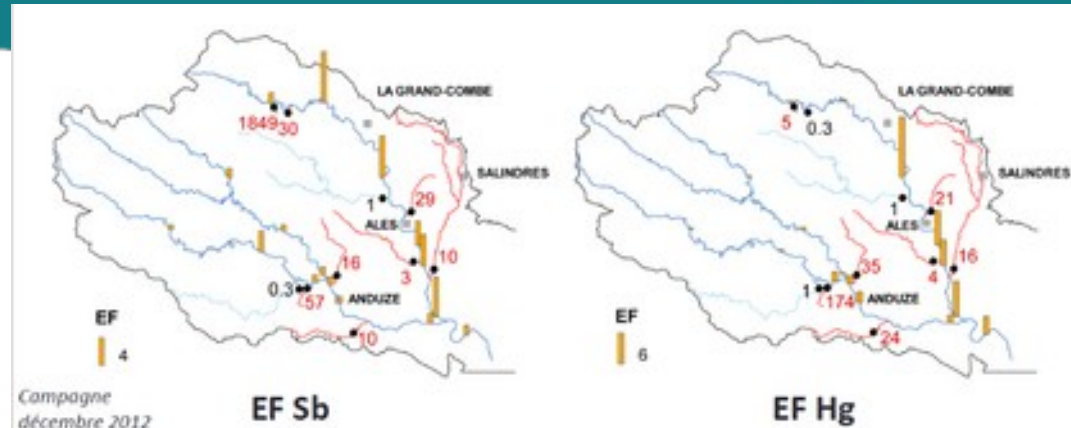
Etude CNRS (Resongles, HSM, 2012)

- Augmentation des EF $\times 2$ à 4 sur les Gardons à l'aval des effluents miniers (Pb, Zn, As, Cd, Hg, Tl...)
- Enrichissements en Sb et Hg surtout sur le Gardon d'Alès

Pb

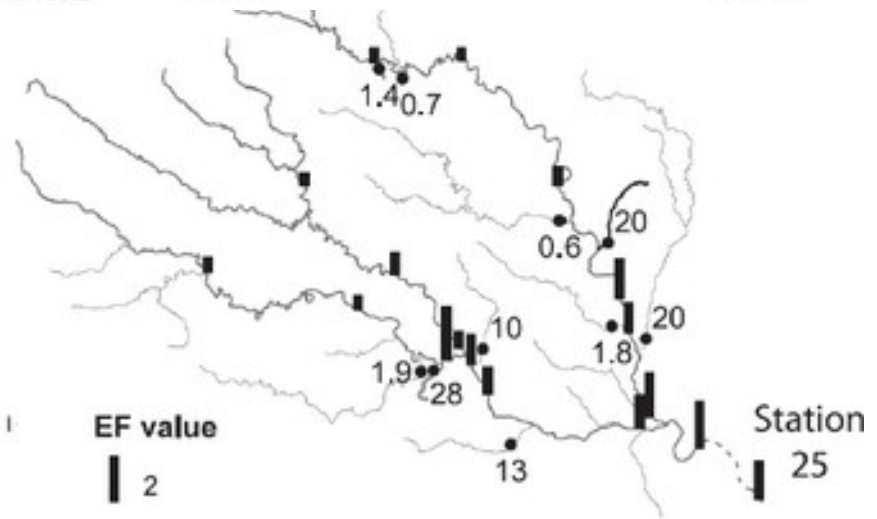


EF Zn



EF value

2



Métaux : carottages et historique de la contamination

Etude CNRS (Resongles, HSM, 2012) :
Le pic de pollution date des années
1970

514

E. Resongles et al. / Science of the Total Environment 481 (2014) 509–521

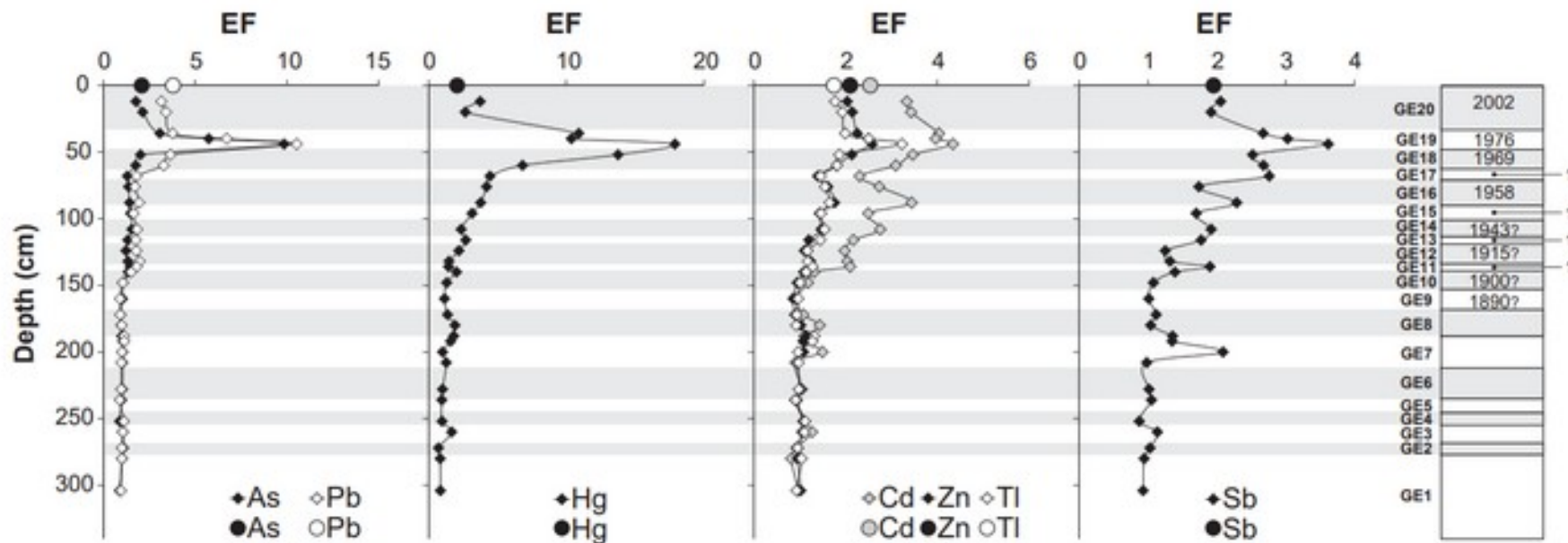


Fig. 2. Enrichment Factors (EFs) of As, Pb, Hg, Cd, Zn, Tl and Sb in sediments of the archive (♦) and in current stream sediments (●) sampled on November 2011 at the st. Dating is from Dezileau et al. (2013, accepted for publication).

Arsenic dans les sédiments



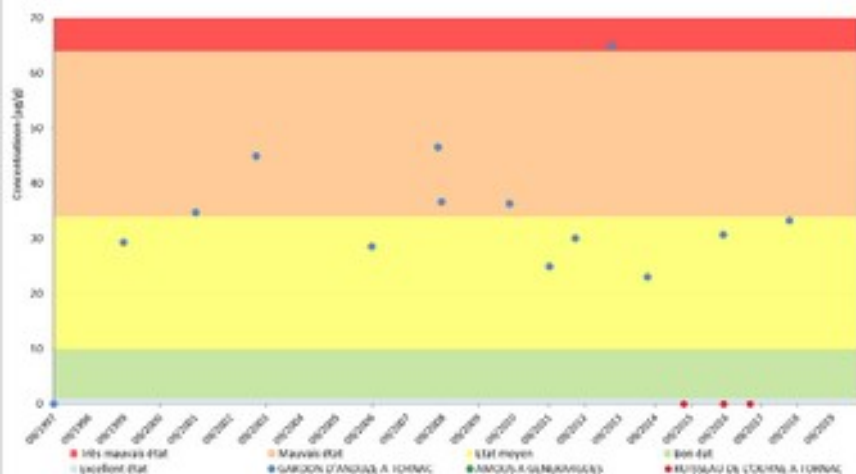
Sur **sédiments** :

- Très fort impact des anciennes exploitations minières (Aiguesmortes, Paleyrolle et Ourne, Reigous et Amous)
- impact très significatif des sites en Pb, Cd, Zn, As, Cu et Hg
- dilution sédimentaire au niveau des confluences.
- sédiments du Gardon d'Anduze contiennent 20-70 mg/kg

Schéma des cours d'eau, des stations d'étude des sédiments et des concentrations en Arsenic

Arsenic sur sédiments

Concentrations en Arsenic sur sédiments - Gardon d'Anduze, Arnous, Ourne



• GARDON D'ALÈS A BRANOUX-LES-TAILLADÈS 1
• GARDON D'ALÈS A CENDRAS
• GARDON D'ALÈS A LÈS-SALLES-DU-GARDON
• GARDON D'ALÈS A RIBAUTE-LES-TAVERNES
• GARDON D'ALÈS A ST-HILAIRE-DE-BRETHMAS 1

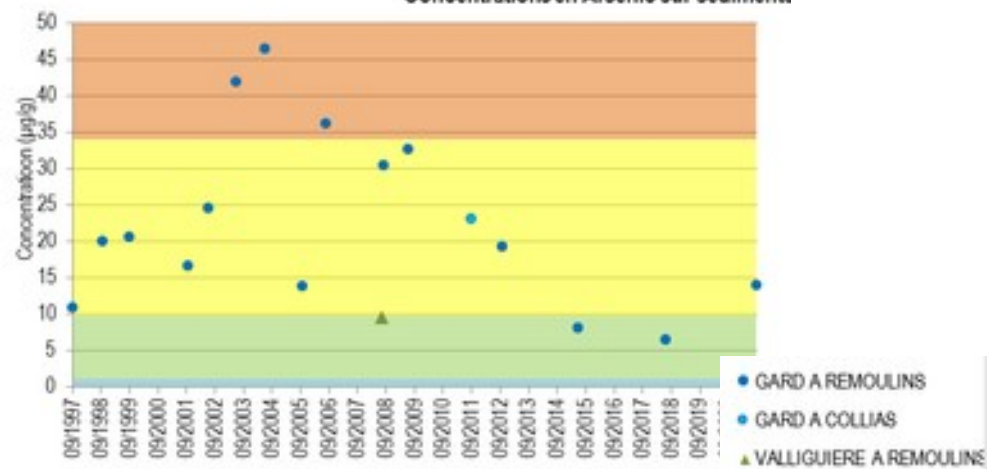


Normes :

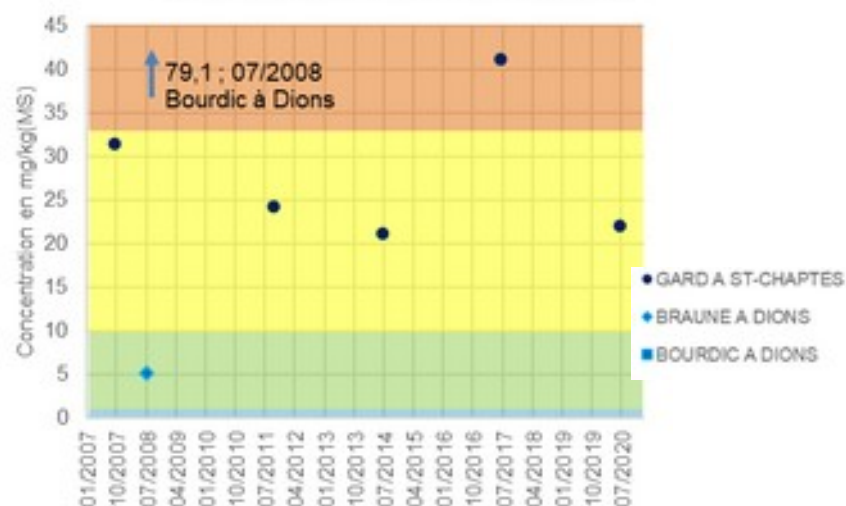
- NQE&VGE = ??? mg/kg (µg/g)
- Seuil S1 = 30 mg/kg (µg/g)

La contamination des sédiments du Gardon d'Anduze s'additionne à celle du Gardon d'Alès et se propage sans vraiment s'atténuer
Avec des concentrations comprises entre 20-50 mg/Kg de Pb

Concentrations en Arsenic sur sédiments



Concentrations en Arsenic sur sédiments



Plomb dans les sédiments

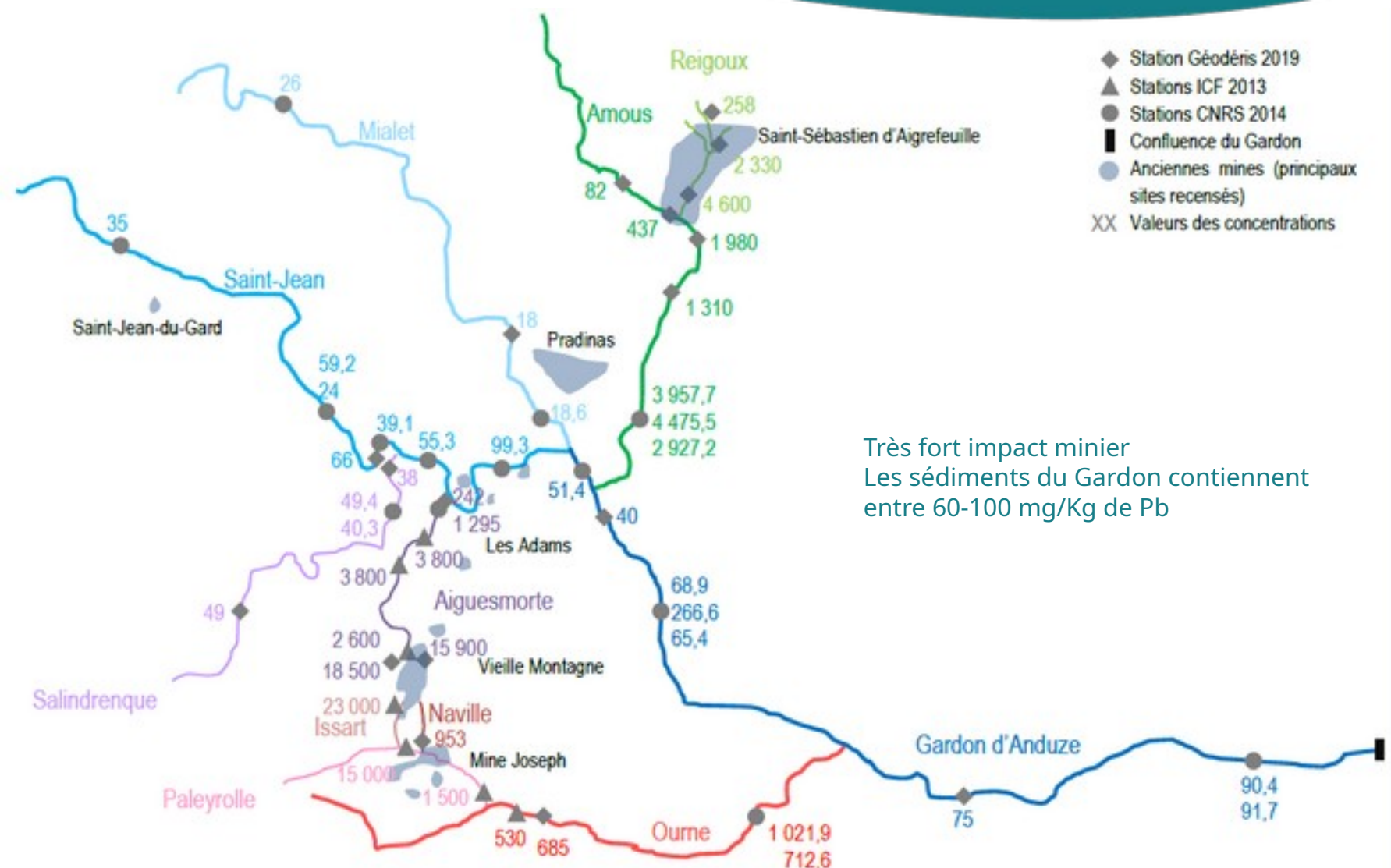
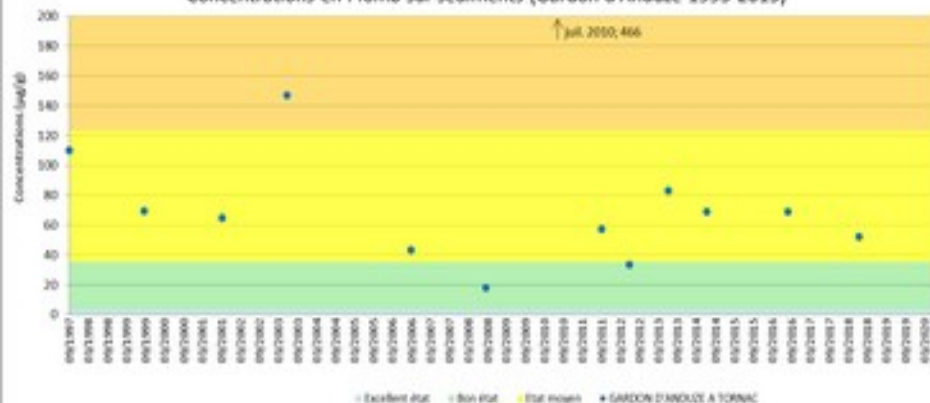


Schéma des cours d'eau, des stations d'étude des sédiments et des concentrations en Plomb

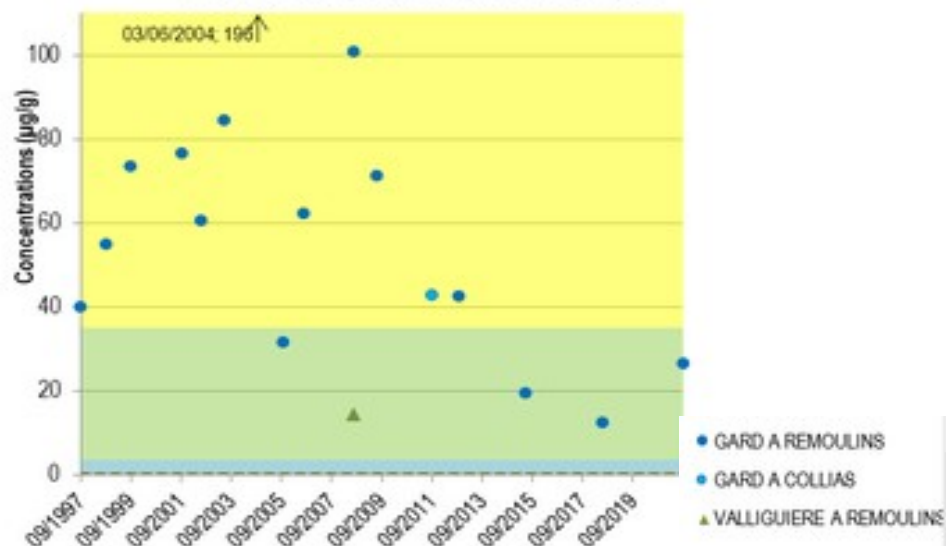
Plomb sur sédiments

- GARDON D'ALÈS A BRANOUX-LES-TAILLADÈS 1
- GARDON D'ALÈS A CENDRAS
- GARDON D'ALÈS A LES-SALLES-DU-GARDON
- GARDON D'ALÈS A RIBAUTÈS-LES-TAVERNES
- GARDON D'ALÈS A ST-HILAIRE-DE-BRETHMAS 1

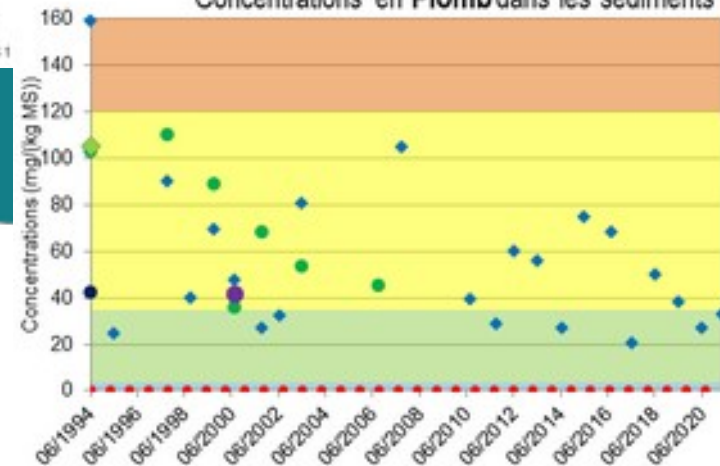
Concentrations en Plomb sur sédiments (Gardon d'Anduze 1995-2015)



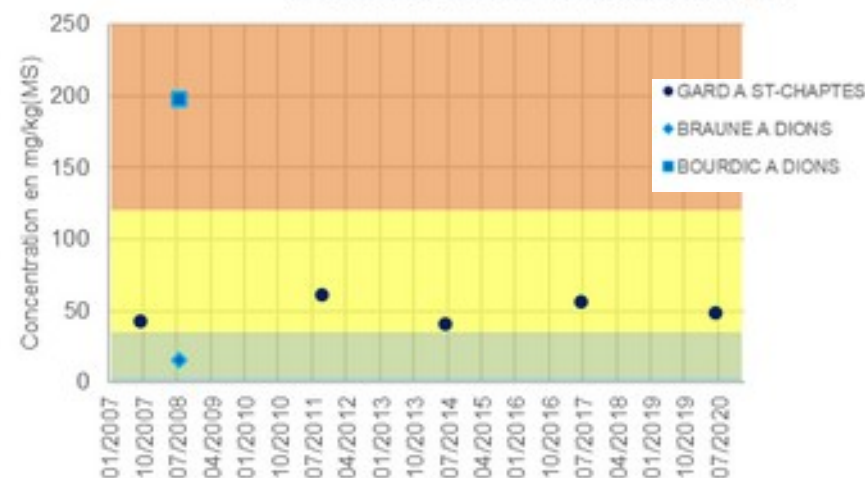
Concentrations en Plomb sur sédiments



Concentrations en Plomb dans les sédiments



Concentrations en Plomb sur sédiments



La contamination des sédiments du Gardon d'Anduze s'additionne à celle du Gardon d'Alès et se propage sans vraiment s'atténuer
Avec des concentrations comprises entre 40-90 mg/Kg de Pb

Normes :

- VGE = 0,131 mg/kg (µg/g)
- Seuil S1 = 100 mg/kg (µg/g)

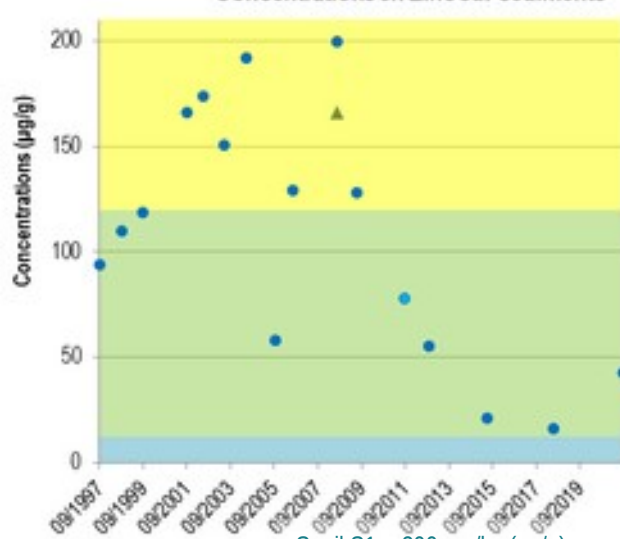
Autres ETM sur sédiments en fermeture de BV

La contamination des sédiments du Gardon d'Anduze s'additionne à celle du Gardon d'Alès et se propage sans vraiment s'atténuer
Avec des concentrations comprises entre 40-100 mg/Kg de Pb

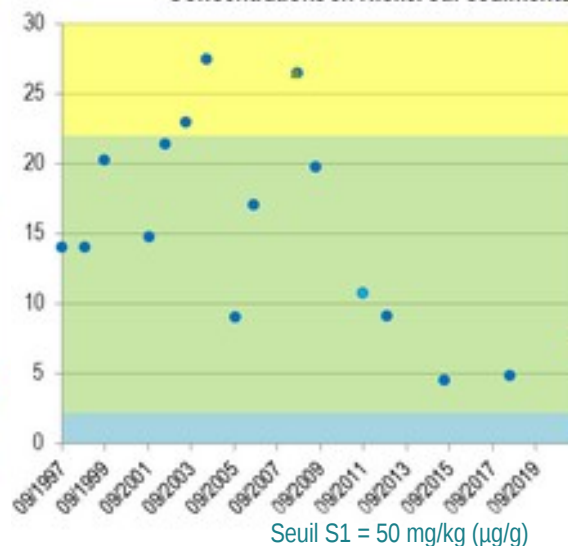
Hypothèse de bouffées de sédiments contaminées lors des crues et des dynamiques d'érosion

- GARD A REMOULINS
- GARD A COLLIAS
- ▲ VALLIGUIERE A REMOULINS

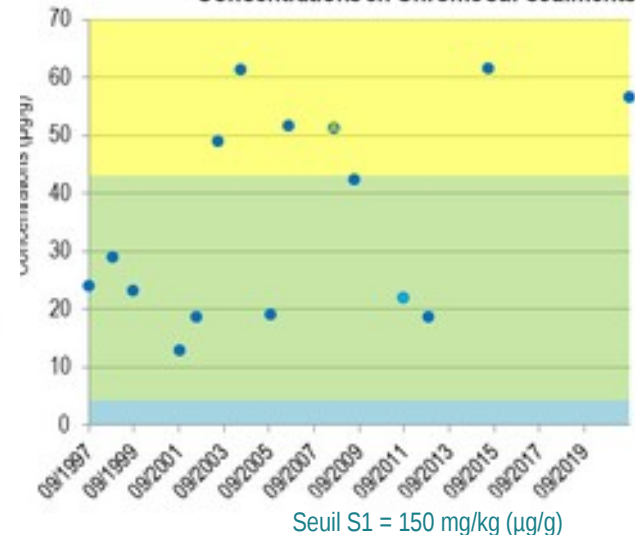
Concentrations en Zinc sur sédiments



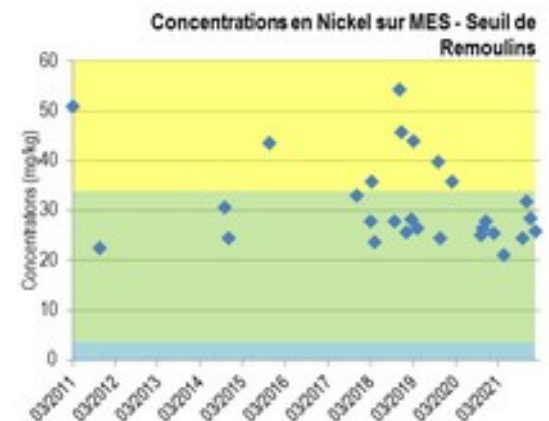
Concentrations en Nickel sur sédiments



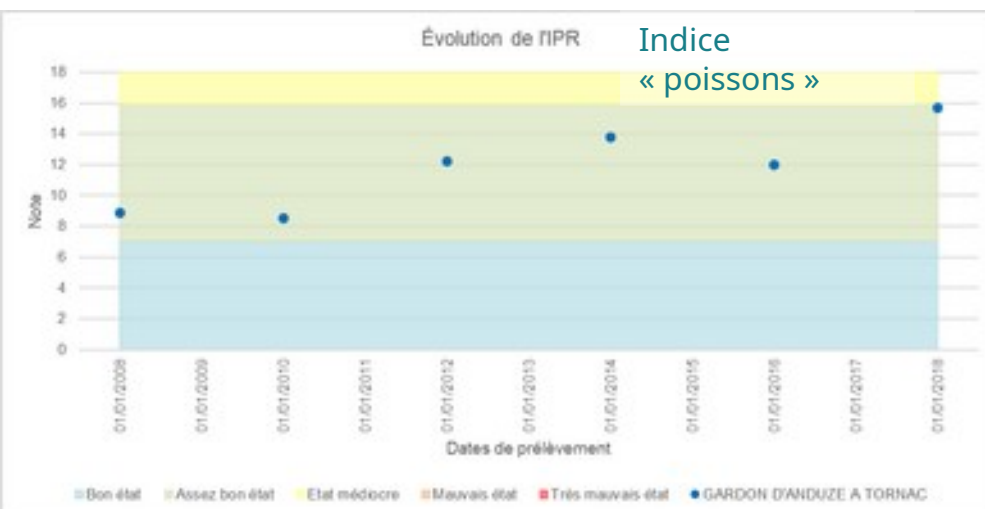
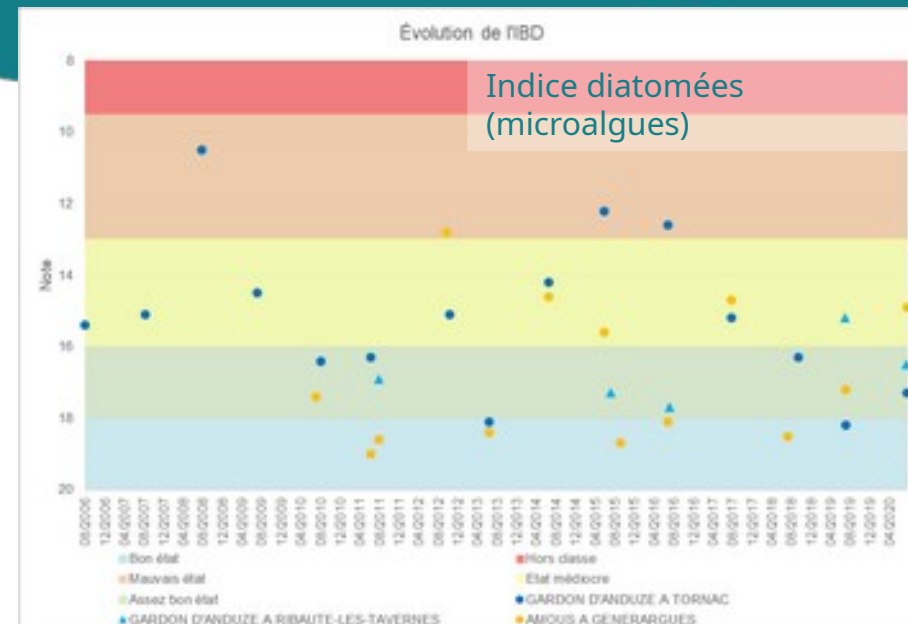
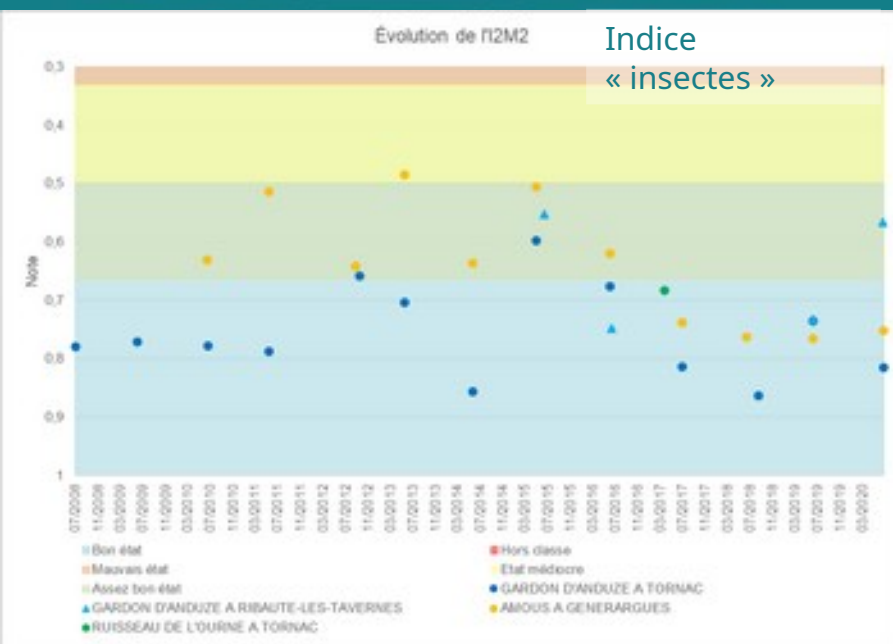
Concentrations en Chrome sur sédiments



EPTB
Gardons



Et les indices biologiques ?



Impact sur les communautés vivantes est probable mais demanderait à être expertisé : notamment sur la corrélation notes / pollution ETM, Les notes sur l'Amous sont très analogues à celles du Gardon d'Anduze. Pas de gradient amont-aval. Pertinence des nouveaux indices sur les gammars plus ciblés sur l'impact des micropolluants.

Tentative de synthèse ... provisoire

Différentes sources majeures – et mineures – issues du passif minier (Secteur Anduze + secteur Alès-Rousson)

L'**Arsenic**, sur toutes les matrices, avec des valeurs déclassantes sur eau filtrée (4-6 g/L) et sur MES (60-80 mg/kg), avec une tendance qui semble plutôt à la hausse. Sur les sédiments on constate un tassement des concentrations après un pic au début des années 2000 (40-50 µg/g) (effet de la crue de sept. 2002 ?) ;

Le **Chrome**, avec des valeurs significatives dans les MES, médiocre dans les sédiments (50-65 µg/g) et ponctuellement mauvaises dans l'eau filtrée (6-8 g/L);

Les valeurs en **Plomb** dans les MES (60-140 mg/kg) sont également très médiocres, bien qu'elles semblent se tasser dans les sédiments (20-40 mg/kg) ;

Le **Cuivre**, avec des concentrations ponctuelles mais significatives sur l'eau filtrée du Gardon à Collias et l'eau brute à Remoulins (1,5-2,5 µg/L);

Le **Zinc** avec quelques valeurs déclassantes sur eau brute (6 g/L) et sur MES (50-150 mg/kg)

Le transport sédimentaire n'est pas linéaire : « bouffées » aléatoires lors des crues et des phénomènes de remobilisation (érosions).

Pas d'atténuation visible dans les MES (matières en suspension)

L'impact toxicologique sur la biocénose est à mieux appréhender (référentiels non actualisés sur les sédiments, test gammares plus fiables sur la toxicologie)

La pollution aux métaux sur le BV Gardons est historique (« tarissement » relatif des sources) et son impact se mesure sur les sédiments (et les MES)

**« Action sans regret »
= limiter toutes les émissions « résiduelles »**

Le bassin versant des Gardons

La morphologie, ossature du cours d'eau :

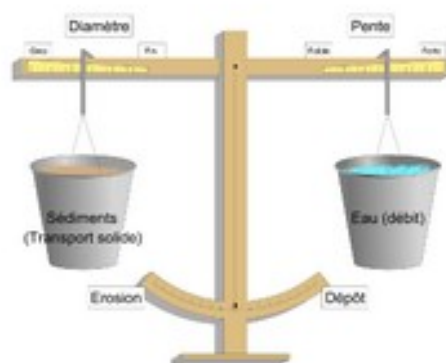
L'hydrosystème et l'écosystème nappe-rivière s'inscrit dans un contexte physique (géologique, morphologique) qui le structure.

La mobilité naturelle du cours d'eau l'amène à creuser, déplacer des matériaux (transport solide), modifier son lit, latéralement et verticalement et à évoluer autour d'équilibres successifs.

La qualité de l'eau et l'autoépuration naturelle sont intimement liées à ces états physiques et biologiques.



Profils en long du Gardons, témoignant de l'incision du lit mineur



Les travaux de remembrement agricole et les extractions de matériaux en lit mineur ont conduit à d'importants curages et recalibrages qui sont venus brutalement perturber ces équilibres, avec des impacts directs sur les échanges nappe-rivière et l'écosystème.

