

# Regards croisés sur les rivières cévenoles – journée d'échanges autour du site atelier des rivières cévenoles



*Organisation : Pierre-Alain AYRAL, Juliette CERCEAU, Guillaume JUNQUA et Antoine FRICARD (IMT Mines Alès)*



27 novembre 2020

Rencontre virtuelle



# PROGRAMME

**10h – 10h10 : Mot d'accueil**

**10h10 – 10h30 : Contextualisation du site atelier « Rivières Cévenoles »**

**10h30 – 12h : Présentation des travaux de doctorants**

**12h00 – 12h30 : Clôture**

# MOT D'ACCUEIL



27 novembre 2020



## Quels sont vos liens avec les rivières cévenoles ?

Personnels	Professionnels
Des bons souvenirs d'été	Des jaugeages sous la pluie et sous le soleil
Nature, Kayak	EPTB Gardons (directeur)
Cadre de vie (baignade, randonnée, paysages)	Co-responsable du Service National d'Observation (outil de l'INSU/CNRS) OHMCMV/OZCAR
J'habite proche d'Alès	Co-portage du label Rivière Sauvage avec l'EPTB des Gardons
Famille, cadre de vie	Je réalise une thèse sur un des Gardons
Randonnées et baignades !	Enseignant-chercheur IMT Mines Alès
Fascinée par ce territoire aux 1000 paysages	Suivi du flux des MES et polluants dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône
Crues, sécheresses	Ma thèse porte sur la gestion de l'eau des Gardons
Région d'origine	Doctorat sur le karst et les crues en Cévennes
Etre au bord des rivières !	Gestionnaire du BV Ardèche
Béals et partage de l'eau	Directeur de thèse sur l'étude de la contribution des eaux souterraines aux basses eaux
Les randonnées, les paysages	Préservation d'habitats et d'espèces d'intérêt communautaire aquatiques (sites Natura 2000)
Beaux paysages	Architecte depuis 10 ans dans la région
Site agréable de pratique du kayak	IMT Mines Alès, contamination, pollution, métaux lourds, eaux souterraines, gardons, Cévennes
Randonnées ornithologie baignades	EPTB Gardons - Chargé de mission Gestion quantitative
J'habite à St Jean du Gard et j'enseigne l'hydrologie à l'IMT et à l'U-Nimes	Lien avec les eaux souterraines
Ballades, baignades	LGEI, IMT Mines Alès, qualité de l'eau, contaminants organiques persistants
J'y habite et j'y travaille	Co-animateur site ZABR Rivières Cévenoles
Balades, baignades, eaux souterraines	Projet ZABR (interactions karst/Cèze - fin 2020)
	Projet interactions karst/Ardèche (début 2021)
	Travaux de recherche
	EPTB Gardons - Chargé de mission gestion quantitative
	BRGM, échanges Karst-rivière, crues karstiques sur le territoire

# SITE ATELIER



27 novembre 2020





# OHM-CV ET SA-RIVCEV CONVERGENCE DANS UN ESPACE COMMUN: LES TROIS RIVIÈRES CÉVENOLES

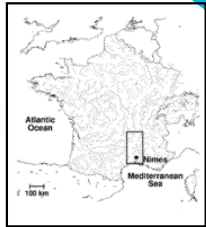
Johannet Anne <sup>(1)</sup>, Boudevillain Brice <sup>(2)</sup>,  
Martin Philippe <sup>(3)</sup>, Delrieu Guy <sup>(2)</sup>, Paran  
Frédéric <sup>(4)</sup>

(1) LGEI, Mines Alès, Univ Montpellier;

(2) IGE (UMR5001/UR252, CNRS, Grenoble INP, IRD,  
and UGA)

(3) UMR ESPACE 7300 CNRS, Université d'Avignon,

(4) UMR CNRS 5600 EVS – Mines Saint-Etienne,



2 “observatoires” : OHMCV (SNO/INSU) et SA-RivCev (ZA/INEE),  
contribuent aux études sur la zone critique et partagent le même territoire

Ces trois rivières possèdent en commun plusieurs des caractéristiques permettant d'étudier la zone critique

- ▶ Plusieurs mots clés au fil de cette présentation,
- ▶ Questions scientifiques, dynamiques de l'eau, travaux associés
- ▶ Retours et attente de la société
  
- ▶ Convergence des deux “observatoires”

# PLAN

## 1. OHMCV ET SA-RIVCEV : OBSERVATION

1.1 Présentation

1.2 Diversité de la géologie, du climat et de l'occupation des sols

## 2. QUESTIONS BOUILLANTES SUR L'HYDROLOGIE

2.1 Forts gradients et interactions à grandes échelles

2.3 Processus à haute énergie

2.4 Études multi proxis / multi variables

## 3. RETOURS SOCIÉTAUX

3.1 Crues et trajectoires sociales

3.2 Gestion de crises

3.3 Hydrologie populaire

## 4. TRAVAUX COMMUNS: PLUSIEURS PROJETS ...

1.1 Convergence





# ZONE CRITIQUE

## 1. OHMCV ET SA-RIVCEV : OBSERVATION

1.1 Présentation

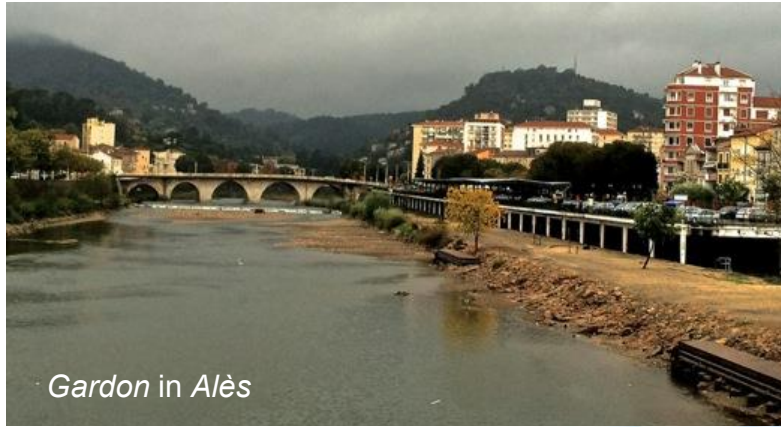
1.2 Diversité de la géologie, du climat et de l'occupation des sols



# 1: OHMCV ET SA-RIVCEV : OBSERVATION

5

## 1.1 OHM-CV: Observatoire Hydrométéorologique Cévennes-Vivarais



Mots clés :

**Observations des pluies / crues éclair**

Stratégies d'observation :

- ▶ Observations hydro-météorologique à plusieurs échelles sur la zone “Cévennes-Vivarais”,
- ▶ Focus sur les évènements extrêmes
- ▶ Investigations interdisciplinaire post-crués
- ▶ Caractérisations probabilistes des pluies et débits

Réseau d'observation :

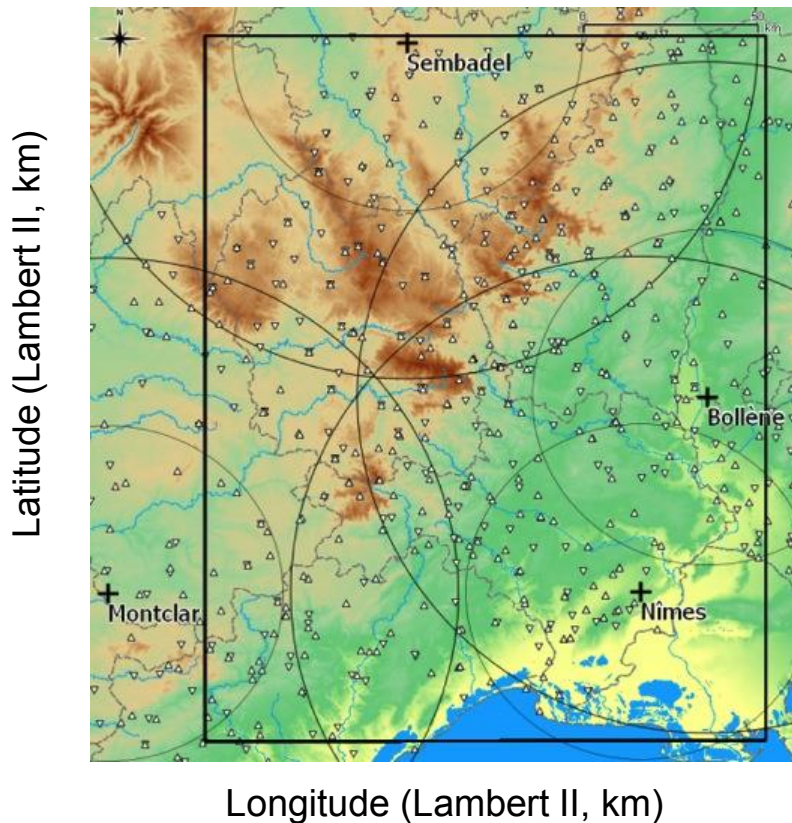
Échelle locale (parcelle ou versant) : pluie, humidité du sol, débits, propriétés du sol, ... : UMRs ESPACE, HSM, IGE, ainsi que UNîmes, Mines Ales et INRAE

Méso-échelle : pluies et débits : grâce à Météo-France, EDF et Service de Prévision des Crués Grand Delta

# 1: OHMCV ET SA-RIVCEV : OBSERVATION

6

## 1.1 OHMCV: Observatoire Hydrométéorologique Cévennes-Vivarais



Mots clés :

**Observations des pluies / crues éclair**

Stratégies d'observation :

- ▶ Observations hydro-météorologique à plusieurs échelles sur la zone “Cévennes-Vivarais”,
- ▶ Focus sur les événements extrêmes
- ▶ Investigations interdisciplinaire post-crués
- ▶ Caractérisations probabilistes des pluies et débits

Réseau d'observation :

Échelle locale (parcelle ou versant) : pluie, humidité du sol, débits, propriétés du sol, ... : UMRs ESPACE, HSM, IGE, ainsi que UNîmes, Mines Ales et INRAE

Méso-échelle : pluies et débits : grâce à Météo-France, EDF et Service de Prévision des Crués Grand Delta

# 1: OHMCV ET SA-RIVCEV : OBSERVATION

## 1.1 SA-RivCev, Site Atelier Rivières cévenoles : Gard, Cèze, Ardèche



Mots clés :

**Hautes énergies / trajectoires sociales / eau/ services écosystémiques**

Questions de recherche ...

- ▶ Changement climatique (la zone méditerranéenne est très sensible),
- ▶ Quelles caractéristiques contrôlent le comportement des rivières ?
- ▶ Interactions rivières/sociétés
- ▶ Quels sont les processus dominants ?

... avec les gestionnaires et utilisateurs finaux :

- ▶ Agence de l'eau RMCE,
- ▶ Gestionnaires (Ardèche Claire, AB Cèze, SMAGE des Gardons, )
- ▶ Parc national des Cévennes

# 1: OHMCV ET SA-RIVCEV : OBSERVATION

## 1.1 SA-RivCev, Site Atelier Rivières cévenoles : Gard, Cèze, Ardèche

### Crués éclair :

Transport solide intense

Danger pour les activités humaines (décès, dégâts))

- ▶ Observation socio-hydro-climatologiques et modélisations : depuis l'observation des pluies aux impacts sociétaux
- ▶ Gestion de crises

### Étiages :

Changement climatique /  
conflits d'usage

Impacts sur les écosystèmes



- ▶ Amélioration de la connaissance et acceptation de la population
- ▶ Évaluation de la biodiversité

# 1: OHMCV ET SA-RIVCEV : OBSERVATION

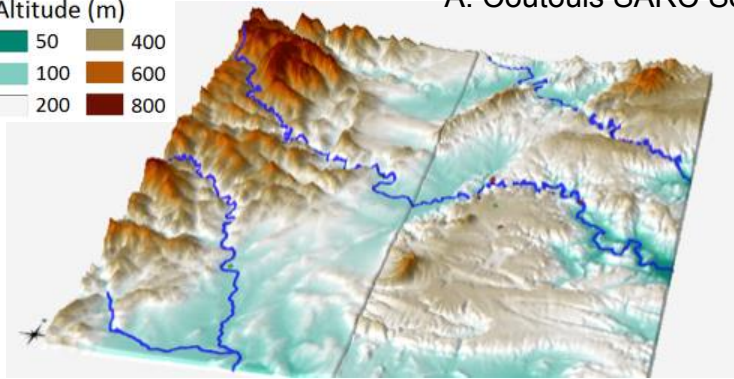
## 1.2 Diversité de la géologie, du climat et de l'occupation des sols

### Légende

- ★ Cavités prospectées
  - ◆ Villes principales
  - Cours d'eau
- 

- Altitude (m)
- 50
  - 100
  - 200
  - 400
  - 600
  - 800

A. Coutouis SARC Seminar (2016)



### Géologie: grande diversité

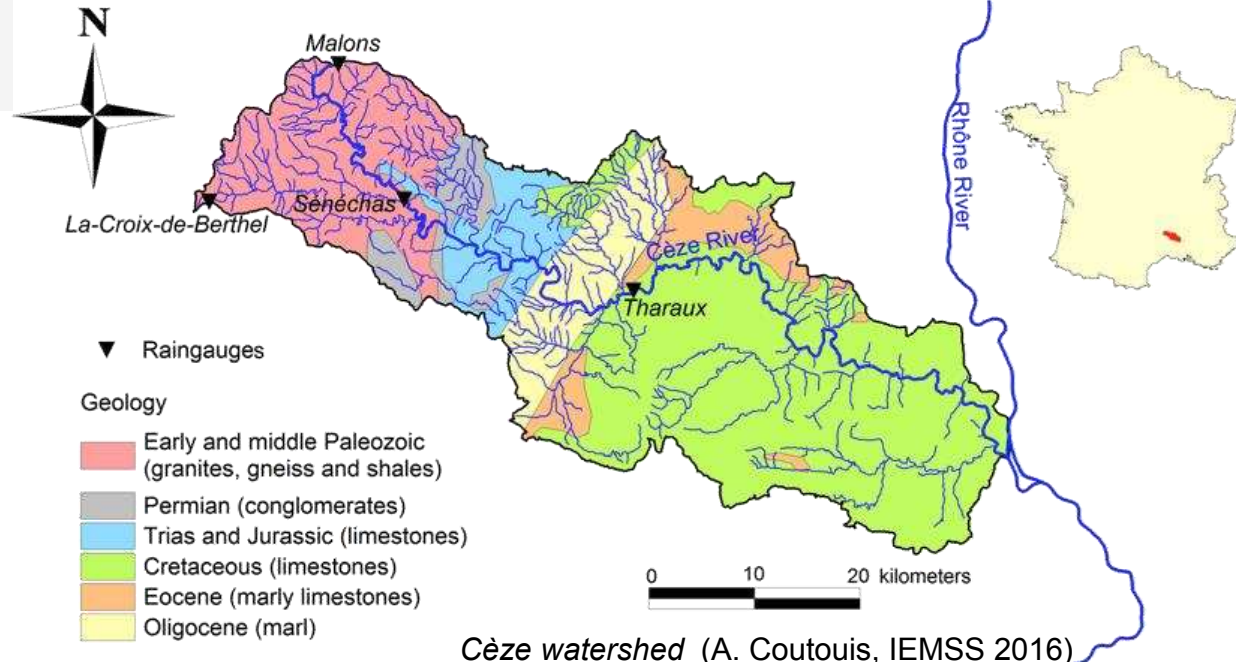
- ▶ Amonts imperméables
- ▶ Partie centrale karstique

### Altitude : hauts gradients

- ▶ 1700 m au Mt Mezenc
- ▶ 25 m à Remoulins (Gard)

### Climat :

- ▶ Méditerranéen (+40°C en été)
- ▶ Montagneux (-20°C en hiver)



Cèze watershed (A. Coutouis, IEMSS 2016)

## 1.2 Diversité de la géologie, du climat et de l'occupation des sols

### Grande diversité naturelle et écologique : seulement pour le bassin de l'*Ardèche*

- ▶ 80% de la zone est enregistrée comme espace remarquable (ZNIEFF)\*
- ▶ 80 sites sont protégés (biotopes, monuments historiques, ...)

### Passé historique industriel minier

- ▶ Essentiellement sur les *Gardons* et *Cèze*

### Agriculture, élevage

- ▶ Forêt (châtaignier), vigne, ...
- ▶ Moutons, chèvres, ...

### Tourisme intense :

- ▶ A certains endroits la population s'accroît d'un facteur 3 durant l'été

### Pollution des sols et de l'eau :

- ▶ Polluants métalliques et organiques

### Demande en eau pour l'irrigation :

- ▶ Durant l'été, au pic du tourisme

# RECHERCHE

## 2. QUESTIONS BOUILLANTES SUR L'HYDROLOGIE

- 2.1 Forts gradients et interactions à large échelle temporelle
- 2.2 Processus à haute énergie
- 2.3 Études multi proxis or multi variables





## 2.2 Forts gradients et interactions à large échelle temporelle

Du fait de la non-linéarité des processus, les forts gradient interagissent avec les longues échelle temporelles (processus couplés)

### Instrumentation pour observer les comportements spatio-temporels à différentes échelles :

Basins emboîtés : *Gazel / Claduègne / Auzon* pour l'*Ardèche*, *Tourgueille, Valescure* et l'*Avène* dans le *Gard* and ceux du *Mont-Lozère en Lozère*

- ▶ Échelle de l'évènement à l'échelle pluri-annuelle
- ▶ Échelle de la parcelle ou du bassin

### Forts gradients et grande échelle temporelle

- ▶ Pluie artificielle / pluie naturelle
- ▶ Humidité du sol
- ▶ Observation originale des bas débits\* et des débits de crue\*\*

Bouvier *et al*,  
common seminar 6-7 June



## 2.2 Processus à haute énergie

Les fortes pentes et les pluies intenses contribuent à des hautes énergies et à des vitesses élevées

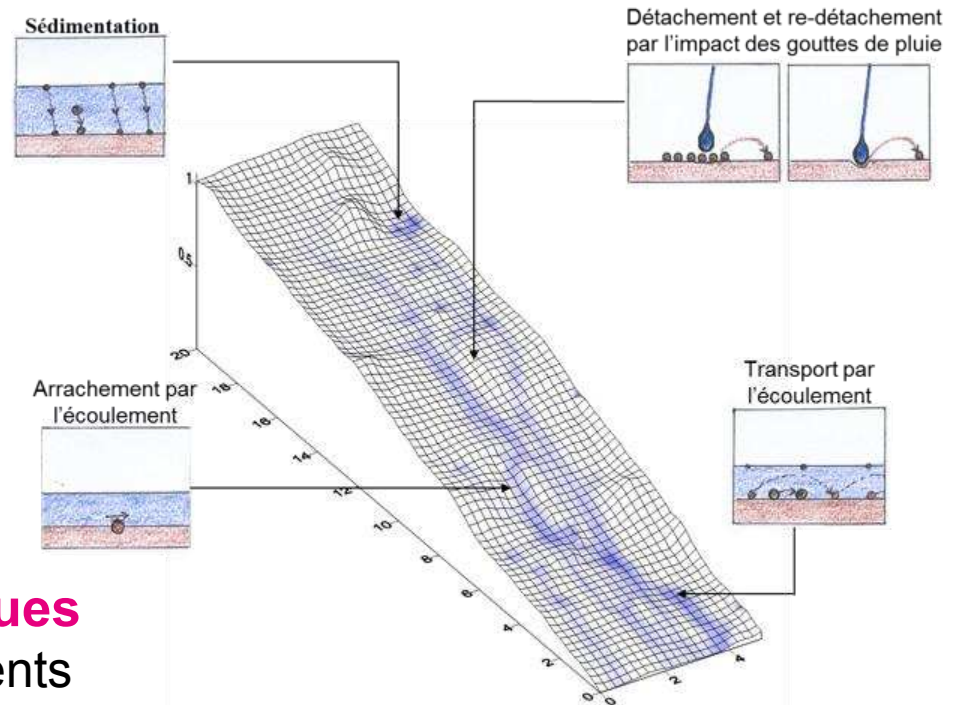
### Transport solide :

Impact de l'érosion des sols sur :

- ▶ Écosystèmes
- ▶ Agriculture
- ▶ Crues
- ▶ Ouvrages de génie civil

**Les dynamiques de transfert au sein du bassin ne sont pas complètement connues**

- ▶ Vecteur important de transport des nutriments et polluants (organiques, pharmaceutiques)



Legoût *et al*, common seminar 6-7 June

# 2 : QUESTIONS BOUILLANTES SUR L'HYDROLOGIE

## 2.2 Processus à haute énergie

Pluies intenses et crues éclair

### Estimation de la pluie :

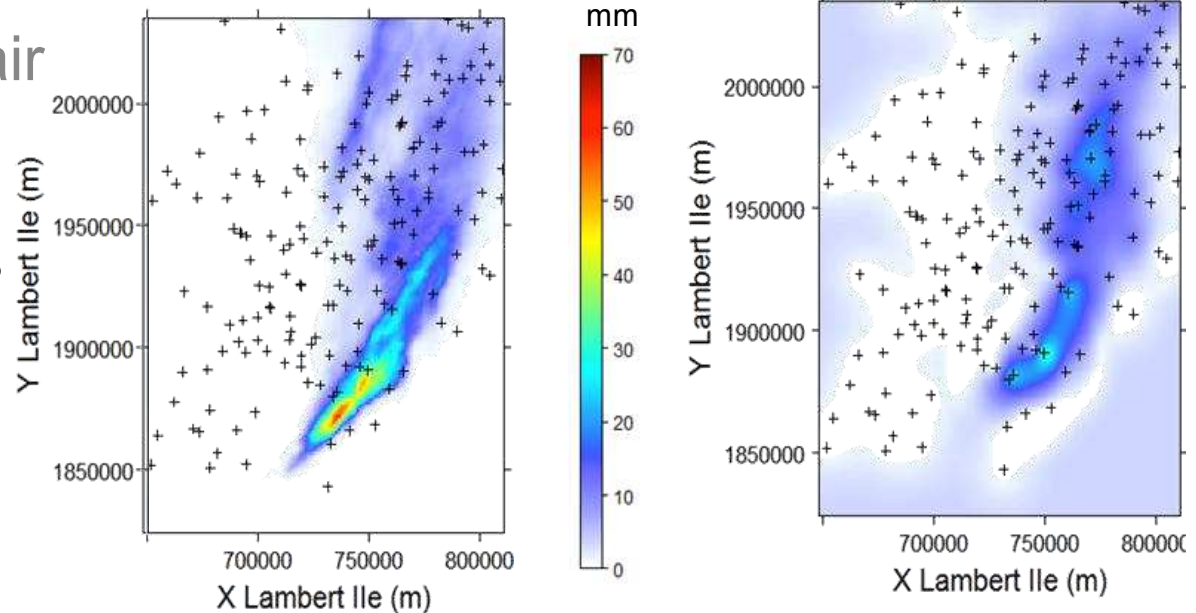
- ▶ Réanalyse en continu des pluies 1h-1km<sup>2</sup> (radar + pluviomètre) 2002->2015

### Infiltration du sol

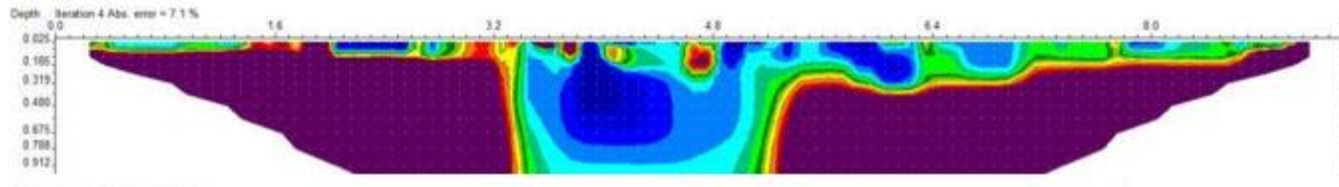
- ▶ ERT, infiltromètre, tensiomètre

### Modélisation

- ▶ Incertitudes (pluies, modèles)
- ▶ Modèles physiques
- ▶ Modèles d'ensemble
- ▶ Modèles statistiques



Delrieu *et al*, séminaire commun 6-7 June 2017



Bouvier *et al*, séminaire commun 6-7 June 2017

## 2.3 Approches multi proxys/variables

Projet : Échanges nappe-rivière : la traversée du plateau de Méjannes-le-Clap par la Cèze\*

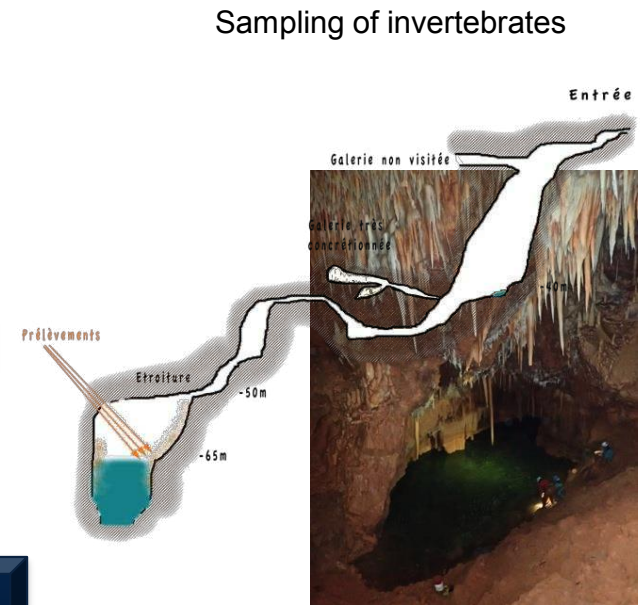
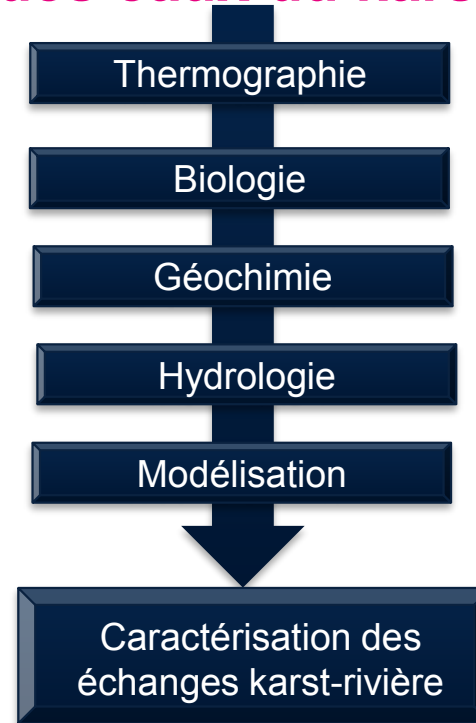
### L'observation et la modélisation des eaux du karst sont difficiles :

Le réservoir n'est pas précisément connu

- ▶ Disposer de plusieurs variables accroît le champ des contraintes

### Modélisation

- ▶ Définition d'un proxy pour qualifier les échanges karst/rivière
- ▶ Prédiction des débits



Martin *et al*, RST 2016, Caen

\*Financé par l'Agence de l'eau RMCE grâce à l'accord cadre avec la ZABR

# RECHERCHE

## 3. RETOURS SOCIÉTAUX

3.1 Crues et mobilités humaines

3.2 Gestion de crise

3.3 Hydrologie “populaire”

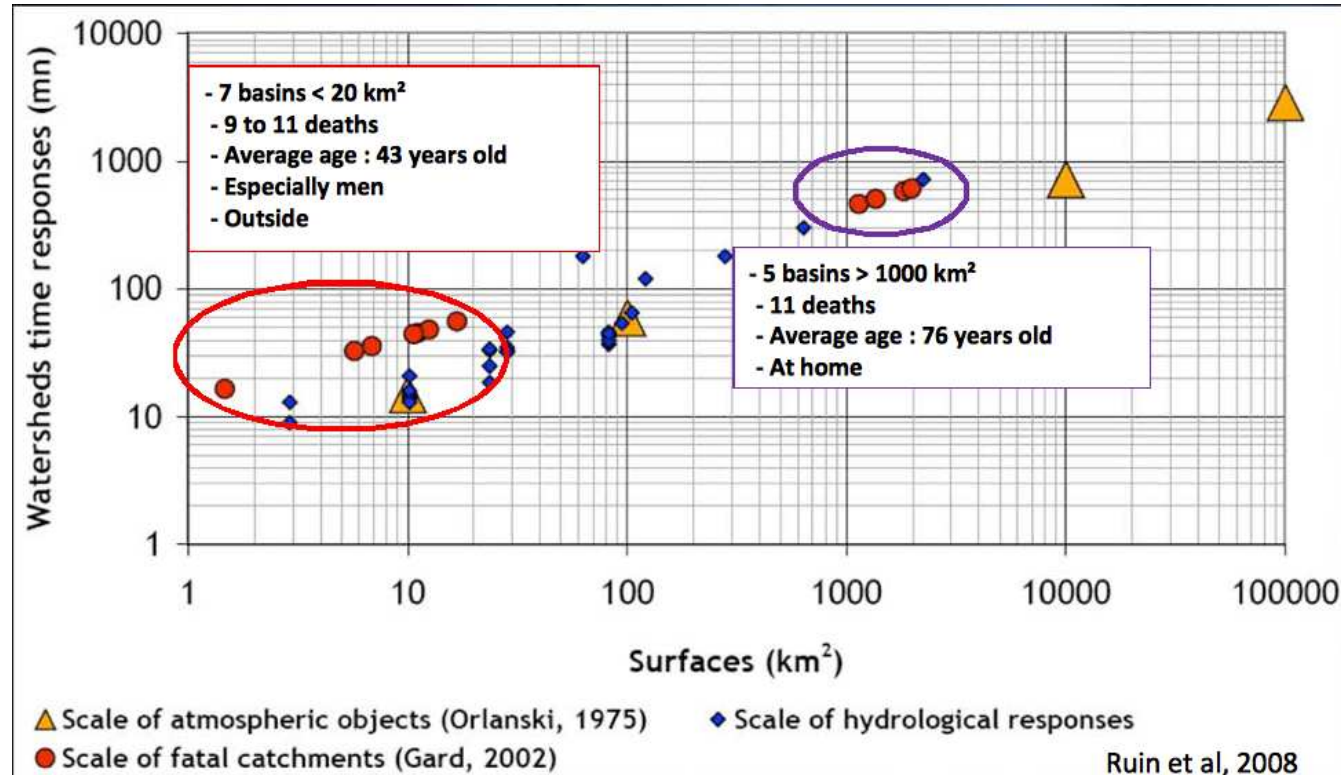


# 3 : CRUES ET MOBILITÉS HUMAINES

## 3.1 Projet MobiClimEx



- ▶ Mobilité routinière:  
Asynchronisme entre l'occurrence des pluies sur plusieurs bassins et la gestion de crise
- ▶ Mobilités résidentielles :  
comme les politiques publiques prennent le risque en compte et modifient l'exposition aux



Ruin et al, 2008

Lutoff *et al*, common seminar 6-7 June

# 3: SITUATIONS EXTREMES

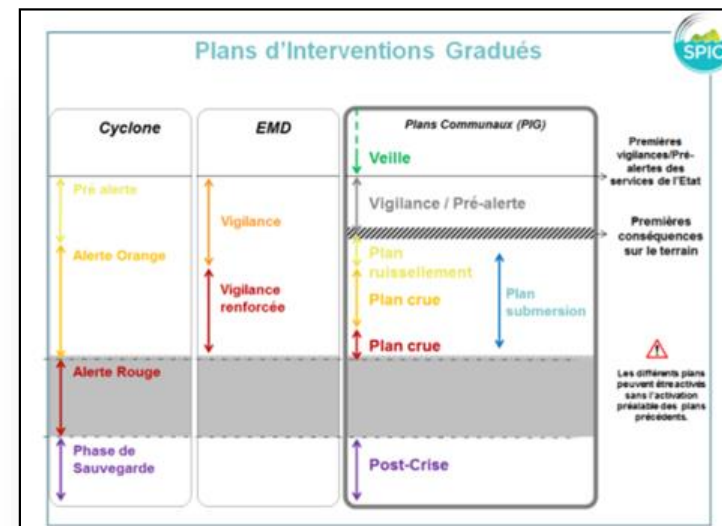
## 3.2 Gestion de crises



- ▶ Comment apprendre la gestion de crises?
- ▶ Comment préparer l'intervention publique face au risque ?



Simulateur de crise IMT Mines Alès



Plan d'intervention gradué



OHM-CV and SA-RivCev convergence sur un territoire partagé : les trois rivières cévenoles

# 3: HYDROLOGIE POPULAIRE

## 3.3 Projet Hydropop\*: apprendre aux populations et évaluer la situation de basses eaux

19

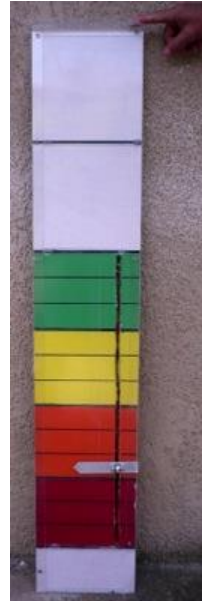
**Hypothèse: les populations réagissent mieux si elle sont informées**

### Recherche participative

- ▶ Communication vers tous les publics (radio, journaux, conférences)
- ▶ Enquête : la culture of l'eau en *Cévennes*
- ▶ Carte participative
- ▶ Hydrométrie : périodicité hebdomadaire

### Échelle gravisec

- ▶ 4 échelles gravisec à *Cendras, Saint-Étienne-Vallée-Française, Saint-Jean-du-Gard and Mialet*
- ▶ Population communique grâce à un service web



\*Funded by Water Agency RMCE thanks to “accord cadre with ZABR”

L'échelle *gravisec* permet à tous d'évaluer le niveau de sécheresse de la rivière de manière à l'envoyer vers le site internet.



# CONVERGENCE

## 4. TRAVAUX COMMUNS



## 4.1 Seminar

Séminaire des 6-7 Juin 2017

### Propositions:

Intérêts partagés

- ▶ Étiages sévères
- ▶ Mesures d'évapotranspiration
- ▶ Sédiments comme vecteurs de propagation/stockage de pollutions
- ▶ Développement de capteurs

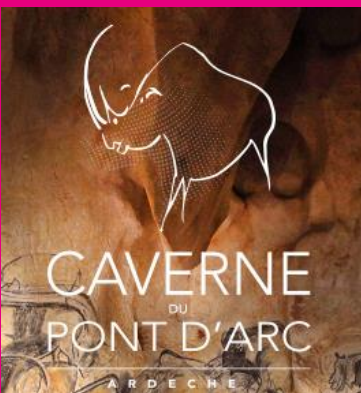
- ▶ 1,5 jour
- ▶ 23 communications
- ▶ Visite de terrain

Sujets à investiguer

- ▶ Sciences participatives
- ▶ Karsts/Eaux souterraines
- ▶ Rôle de la végétation (oscillations dans les bas débits)



## CONCLUSION



- ▶ En dépit d'un climat sévère, qui a évolué le long des siècles, le territoire des rivières cévenoles a hébergé l'aube de l'humanité grâce à ses refuges karstiques
- ▶ Une partie importante de sa surface appartient au parc des Cévennes qui est un des rares parc nationaux à accepter des activités humaines significatives (agriculture, industries)
- ▶ Ce territoire est donc un site unique pour s'intéresser aux relations complexes définissant l'**histoire des sociétés humaines** sur une **fenêtre temporelle de plusieurs siècles**
- ▶ Les 2 réseaux OHMCV et SA-RivCev s'intéressent ensemble à cette tâche difficile

# MERCI POUR VOTRE ATTENTION

## SCIENTIFIC ANIMATIONS ON THE SHARED AREA

- SA-RC seminar at *Mines Alès* (March 2016 - 30 persons)
- Karst Days at *Méjanne- le-Clap* (June 2016 – 70 persons)
- Seminar OHMCV / SA-RC at *Mirabel* (June 2017 – 35 persons)
- Workshop Karst and sedimentary basins at *Mines Alès* (August 2017 - 100 persons)
  
- Future seminar OHMCV / SA-RC: spring 2018



### Titres des interventions et numéros de renvoi

- [1] Isabelle Braud (IRSTEA), Jérôme Gaillardet (IPGP), Fatim Hankard (CNRS) : L'Infrastructure de Recherche OZCAR (Observatoire de la Zone Critique – Application et Recherche) : présentation et objectifs
- [2] Philippe Martin (ESPACE), Anne Johannet (Mines Ales), Frédéric Paran (Mines Saint-Etienne) : Présentation générale du Site Atelier Rivières Cévenoles
- [3] Brice Boudevillain et Guy Delrieu (IGE) : L'Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais
- [4] Floriane Morena et Simon Lalauze (Ardèche Claire) : Actions du Syndicat Mixte Ardèche Claire et attentes vis-à-vis de la recherche
- [5] Patrick Arnaud, Nathalie Folton, Mathieu Tolsa (IRSTEA) : Le bassin du Réal Collobrier, exemple d'un autre observatoire méditerranéen.
- [6] Présentation du CERMOSSEM par Pascal MAO.
- [7] Philippe Martin (ESPACE), Pierre-Alain Ayrat (Mines Alès), Jean-François Didon-Lescot (ESPACE), Jean-Marc Domergue (ESPACE) et Nadine Grard (ESPACE) : Site expérimental de la basse Cévennes carbonatée (France) : mesures endo et exo karstiques dans un petit karst barré à cheval sur les bassins de la Cèze (Auzonnet) et du Gardon Grabieux, Avène)
- [8] Jean-François Didon-Lescot (ESPACE), Philippe Martin (ESPACE), Pierre-Alain Ayrat (Mines Alès), Jean-Marc Domergue (ESPACE) et Nadine Grard (ESPACE) : Les stations de suivi de l'étiage estival dans les Gardons d'Anduze et d'Alès : dispositif et premiers résultats
- [9] Christophe Bouvier, Marko Adamovic, Pascal Brunet (HSM), Pierre-Alain Ayrat, Rosario Spinelli (EMA), Jean-François Didon-Lescot, Jean-Marc Domergue, Nadine Grard (ESPACE) : Caractérisation des flux de sub-surface sous pluies artificielles et naturelles par Hydrus-2D
- [10] Nicolas Patris, J. D. Taupin, Christophe Bouvier (HSM) : Deuterium Excess as a Recharge and Flood Generation Tracer in the Valescure Catchment, France
- [11] Patrick Arnaud, Pierre Javelle, Catherine Fouchier (IRSTEA) : Prévion des crues dans la région PACA (projet Rhythmme / AIGA / VigicruFlash)
- [12] Béatrice Vincendon, Véronique Ducrocq, Simon Édouard et Alexane Lovat (CNRM) : Prévion d'ensemble des crues rapides méditerranéennes
- [13] Jean-Louis Ballais (ESPACE) : Méthode hydro-géomorphologique de détermination des zones inondables
- [14] Guy Delrieu, Brice Boudevillain, Laurent Bonnifait, Dominique Faure, Pierre-Emmanuel Kirstetter, Annette Wijbrans, Audrey Confoland, Arthur Hamburger (IGE) : Point sur les réanalyses pluviométriques : extension à la période 2001-2006 et 2015 en Cévennes-Vivarais et deux nouveaux événements (juin 2010, octobre 2015) sur la région PACA
- [15] Guy Delrieu et Rafael Navas (IGE) : Prise en compte des incertitudes d'estimation des précipitations (radar et pluviomètres) et des incertitudes paramétriques d'un modèle hydrologique dans la prévision des crues éclair en Cévennes-Vivarais
- [16] Jean-Louis Ballais et Monique Léonard (ESPACE) : Érosion hydrique

- [17] Sahar Hachani, Brice Boudevillain, Guy Delrieu (IGE) et Zoubeida Bargaoui (ENIT) : Climatologie de la granulométrie des pluies cévenoles : variabilité et impacts sur l'estimation des précipitations par radar
- [18] Victor Le Boulch (IGE), Hervé Andrieu (IFSTTAR) et Brice Boudevillain (IGE) : Typologie des évènements pluvieux méditerranéens (cévenols) – Développement et évaluation d'une méthode de classification
- [19] Cédric Legoût, Guillaume Nord, Thomas Grangeon, Magdalena Uber, Jonathan Coutaz, Luis Cea (IGE) : Origine et redistribution spatio-temporelle des matières en suspension dans les bassins versants : approche combinant observations de flux, traçage et modélisation distribuée
- [20] Jean Martins et collègues (IGE) : Origine et devenir des contaminants PHARMAceutiques dans les Bassins Versants agricoles. Le cas de la Claduègne (Ardèche). PHARMA-BV
- [21] Céline Lutoff et Sylvie Duvillard (PACTE) : Dynamique des mobilités quotidiennes et résidentielles face aux extrêmes hydrométéorologiques en contexte de changement climatique (ANR MobiClimEx)
- [22] Julien Jean-Baptiste, Corinne Le Gal La Salle, Patrick Verdoux, Benoit Roig, Mahmoud Khaska (CHROME) : Caractérisation du système hydrologique de la Nappe alluviale de Comps dédiée à l'alimentation en eau potable : une approche multi-traceurs
- [23] Pierre-Alain Ayral (Mines Alès), I Canovas (Mines Alès), P. Cicille (ESPACE), Jean-François Didon-Lescot (ESPACE), Jean-Marc Domergue (ESPACE), A. Douguédroit (ESPACE), N. Grard (ESPACE), Ch. Lopez (Mines Alès), Ph. Martin (ESPACE), S. Morardet (IRSTEA), B. Pottier (Mines Alès) et S. Sauvagnargues (Mines Alès) : Focus sur la stratégie d'hydrométrie participative prévue pour l'été 2017 dans le cadre du projet de recherche HydroPop : vers une hydrologie populaire ?

# PRÉSENTATIONS



27 novembre 2020



# Antoine FRICARD (IMT Mines Alès)

**Résumé :** À l'échelle mondiale, le lien entre changements climatiques et ressources en eau est un sujet d'intérêt, car les premiers sont susceptibles d'augmenter la fréquence et l'intensité des événements extrêmes (sécheresses, précipitations, inondations) et d'affecter ainsi la dynamique des hydrosystèmes de surface et souterrains. À une échelle plus locale, au sud de la France, les Gardons supportent (ou ont historiquement supporté) différentes activités humaines tout au long de leur parcours. À l'heure actuelle ces différents événements sont étudiés quantitativement, essentiellement pour des aspects de gestion des risques naturels (prévision des crues éclair et sécheresse). En revanche, les aspects qualitatifs de la ressource ainsi que leur variabilité sont beaucoup plus mal connus. La variabilité de la qualité de l'eau peut cependant avoir des conséquences importantes en termes d'usages, avec une eau de qualité dégradée qui peut présenter des impacts sanitaires ou environnementaux. Une meilleure connaissance des conséquences des changements climatiques sur la qualité des eaux et, par répercussion sur les usages de l'eau est donc nécessaire. La conception et la mise en œuvre de mesures d'adaptation, ainsi que l'évaluation de leurs effets sur la santé humaine, les écosystèmes et la disponibilité de la ressource en eau pour les générations futures s'avère indispensable. Enfin, un site « miroir » du bassin versant des Gardons sera choisi dans un deuxième temps, au Sud du bassin méditerranéen afin de mener des comparaisons.



# Le sujet de thèse



« Résilience de la gestion de l'eau en zone méditerranéenne face aux changements globaux : cas des vallées des Gardons »

Résilience = Combinaison d'une capacité d'absorption, d'une capacité d'adaptation et d'une capacité de transformation suite à un choc (Brown, 2016)

Changements globaux = intensification des changements rapides, causant la rareté des ressources critiques, la dégradation des services écosystémiques et des modifications massives de l'utilisation des terres, à l'échelle mondiale (Berkes, 2017)



Le Galeizon - © SMHVC

Gardons = contexte méditerranéen, « point chaud »

# Une approche originale



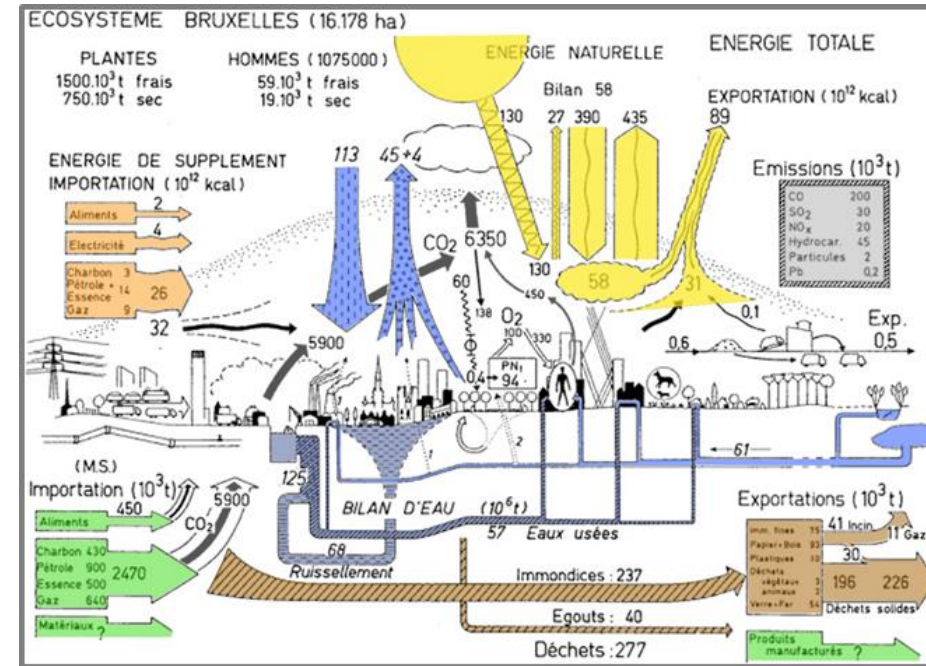
Évaluer l'état de santé d'un territoire pour mieux interroger l'impact des changements globaux et mesurer sa résilience

Interpeller la résilience par la mobilisation de l'analogie écologique : un territoire peut être étudié comme un écosystème (Hess, 2010)

S'inspirer du lien entre santé et environnement : l'état de santé résulte d'un système à multiples composantes qui interagissent entre elles (Amat-Roze, 2011)



Proposer une approche originale de caractérisation et d'analyse des conséquences de ces changements



Duvigneaud, P. and S. Denayer-De Smet. 1977. L'écosystème URBS: L'écosystème urbain bruxellois. In Productivité biologique en Belgique.

# Une méthodologie en construction



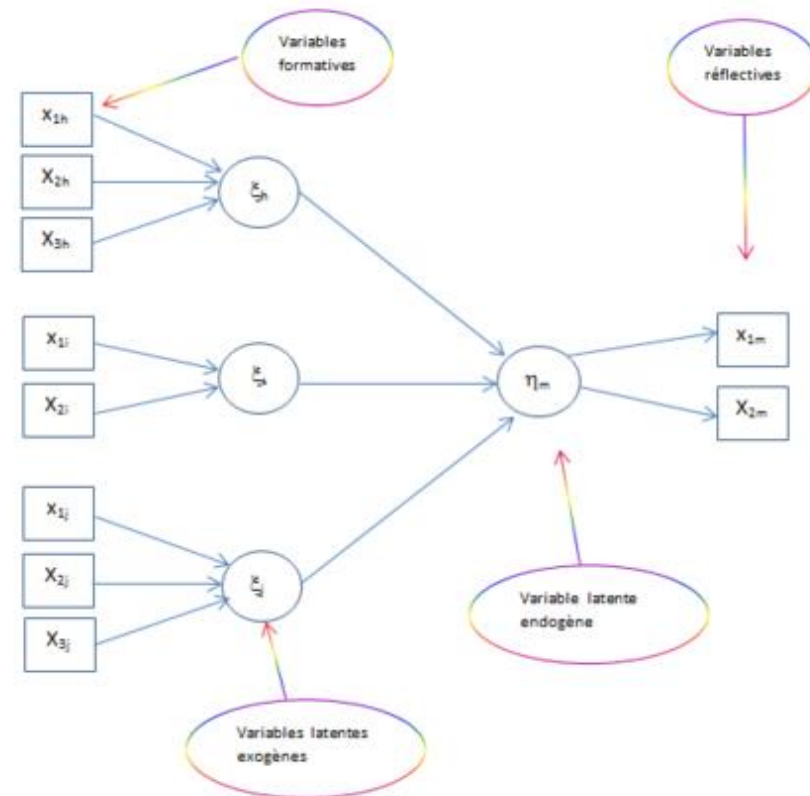
**Identifier un cadre méthodologique qui permette de traduire ce cadre conceptuel à travers des outils, des méthodes voire un indicateur**

Variables formatives = pratiques, que l'on peut mesurer au niveau individuel et au niveau agrégé (occupation du sol à différentes échelles par exemple)

Variables latentes = théoriques, pas de moyen de les mesurer (fonctions vitales du territoire, c'est la description de son « état »)



Construire un modèle d'équation structurelle pour confirmer les liens de causalités entre les variables



# L'application à un bassin versant



**Tester la robustesse de ce cadre conceptuel et de cette approche méthodologique sur un territoire d'étude : le bassin versant des Gardons**

Enquête quantitative = recherche de données décrivant le fonctionnement du territoire et notamment la gestion de ressources (variables formatives)

Enquête qualitative = entretiens et rencontres avec les acteurs locaux pour confronter la théorie aux perceptions vécues (variables latentes)

Avoir une approche « multi-échelle » appliquée à l'eau : **Site – Rivière – Bassin** (étudier les changements de propriétés selon les échelles)



<https://www.les-gardons.fr/plans-actions/plan-ressource-en-eau>

# Merci de votre attention



Direction de thèse : Guillaume JUNQUA et Emmanuelle CADOT

Encadrement : Juliette CERCEAU

Contact : [antoine.fricard@mines-ales.fr](mailto:antoine.fricard@mines-ales.fr)

# Philippe Lionel EBENGUE ATEGA (IMT Mines Alès)

**Résumé :** 132 000 habitants de l'agglomération d'Alès sont directement concernés par la qualité de l'eau des bassins versants des Gardons. Les anciens travaux miniers, et la nature des sols et du sous-sol de l'amont de ces bassins, induisent des effets particuliers sur la qualité des eaux des Gardons qui drainent le territoire de l'agglomération. Plus en aval, le karst, et les masses d'eau souterraines qu'il renferme, à la vulnérabilité plus forte aux pollutions anthropiques, constituent un objet d'étude en soi, aux enjeux sociétaux très importants. Les eaux d'exhaure minière, constituent un apport non négligeable à l'étiage (période de basses eaux), en amont d'Alès. Ce pompage permet un rabattement de nappe évitant le rejet d'eaux souterraines plus en aval, dans la traversée de la ville d'Alès, au prix d'un déplacement d'eaux dans d'anciens travaux miniers souterrains, entraînant des transferts de divers métaux, et minéraux, éventuellement toxiques pour l'homme et l'environnement. Si le territoire concerné par le projet concerne l'ensemble du bassin versant des Gardons, il est évident pour ce qui touche l'agglomération d'Alès, que l'amont des barrages sur le Gardon d'Alès, revêt une importance particulière. La présence sur les pentes des Cévennes d'anciens sites miniers, et les sources potentielles de pollutions qu'ils constituent, sont un point particulier d'attention. Un nécessaire complément d'inventaire sera ainsi à réaliser, dans le cadre de ce programme d'étude.

# Pollution des eaux par les métaux et les métalloïdes dans le bassin versant des Gardons en Cévennes: un témoin muet.

Analyses et réflexions

---

Regards croisés sur les rivières Cévenoles  
Par Philippe Lionel EBENGUE ATEGA

27 novembre 2020

# Un thèse financée par la région



- ✓ **L'objectif** : développer une **méthodologie** permettant de caractériser des **sources de contamination** à **l'échelle d'un bassin versant** ayant connu une **histoire minière** et améliorer leur gestion dans le cadre d'une **écologie territoriale**.

- ✓ **Les laboratoires d'encadrement et les directeurs:**

IMT MINES ALES – laboratoire LGEI (ERT)



Directeur: Marc VINCHES

HSM Montpellier – équipe PoMES



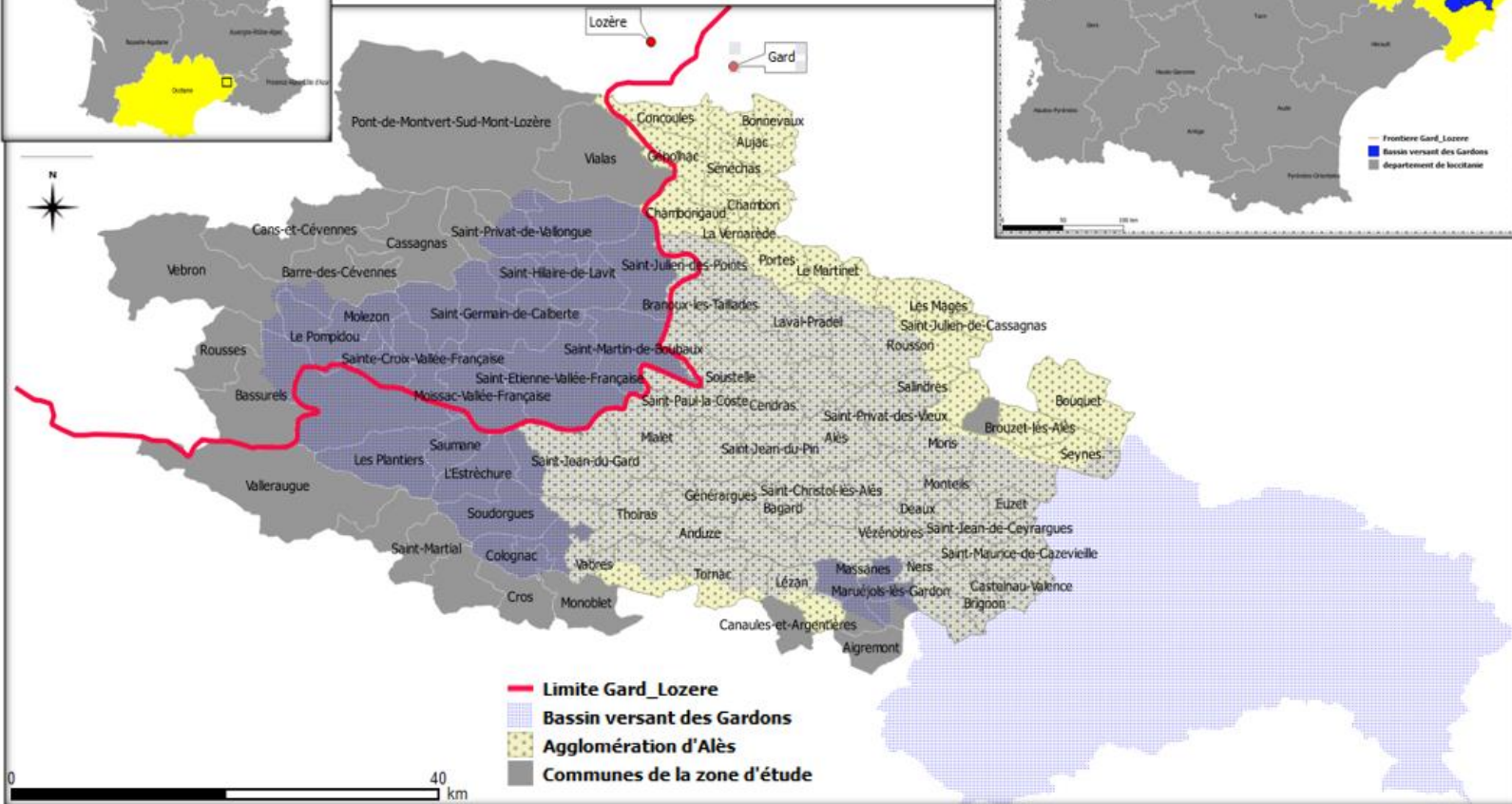
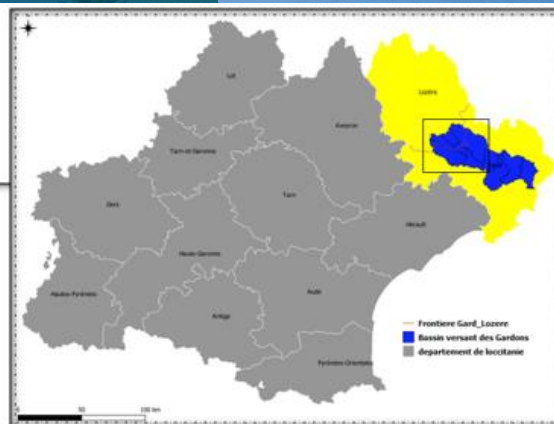
Co-Directrice: Corinne Casiot  
Avec la collaboration de Séverin PISTRE

- ✓ **Le doctorant** : ingénieur de l'exploitation et des environnements Miniers

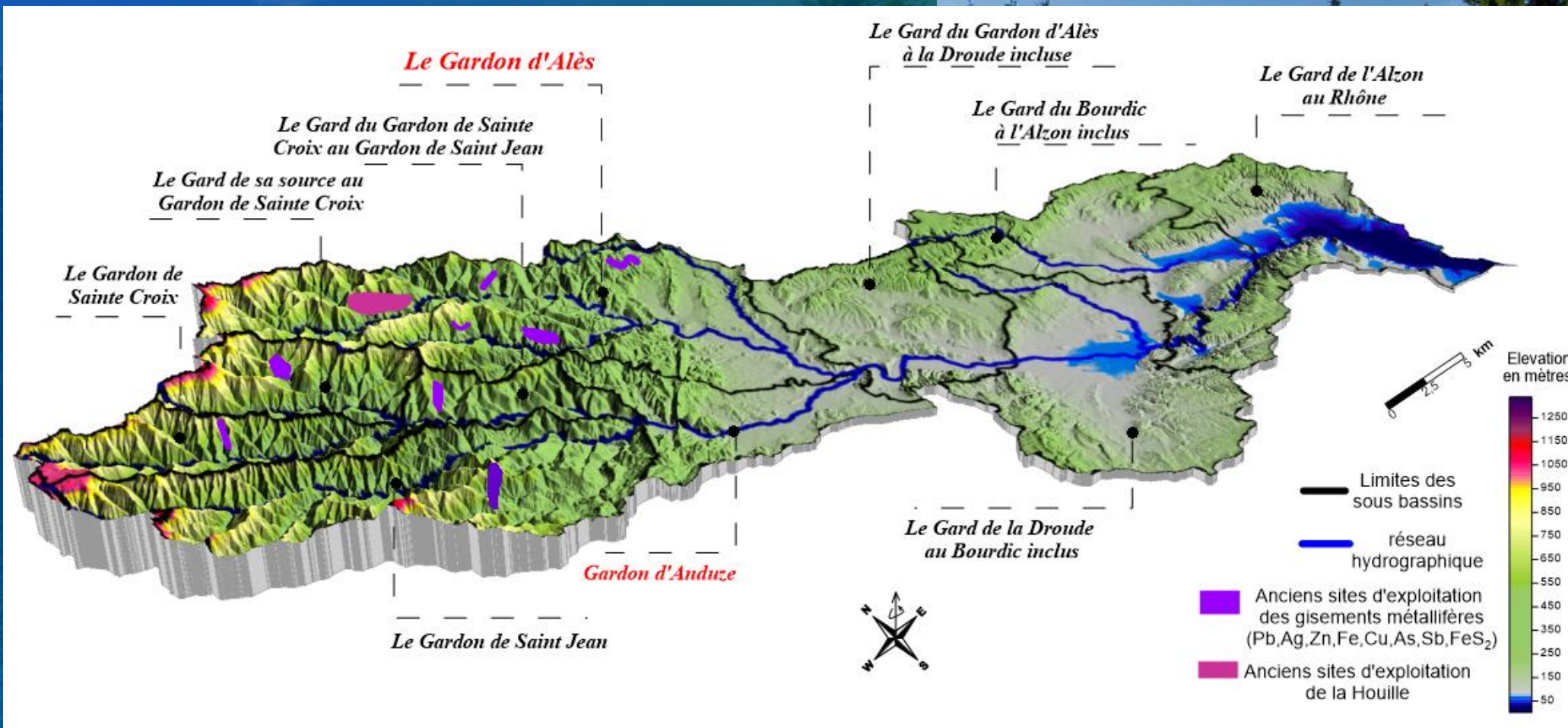


# I. Le territoire: (a) localisation

Occitanie / Gard – Lozère / Gardons en  
Cévennes et Alès- agglo  
**120 communes,**  
**150 000 habitants, 2200 km<sup>2</sup>.**



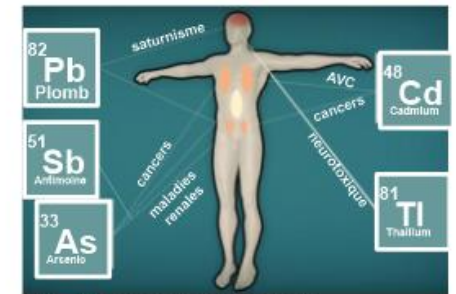
# I. Le territoire: (b) contexte géologique



## 2. Le problème: structures-processus-impacts



Cours d'eau



eau non contaminée

Marqueurs des activités anthropiques (Vestiges miniers, lieu d'exploitation, digues à stériles, etc)

Aquifère

Nappe d'eau souterraine

point d'échantillonnage d'eau de surface

Point de connexion: eau souterraine et eau de surface

eau contaminée

Sources naturelles (point d'échantillonnage d'eau de source)



Vestige d'exploitation minière

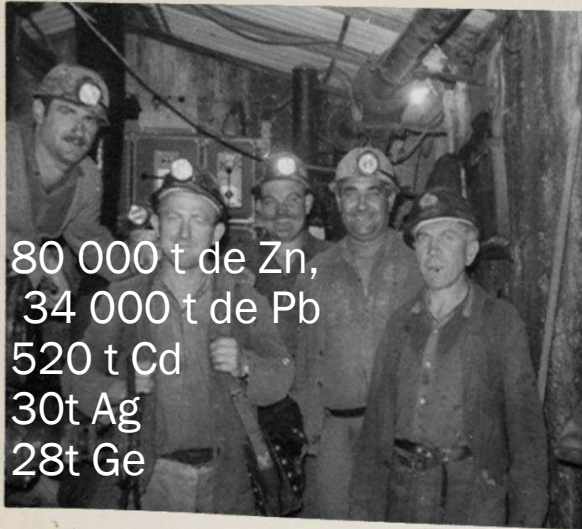


# 3. Faits, actualités et société

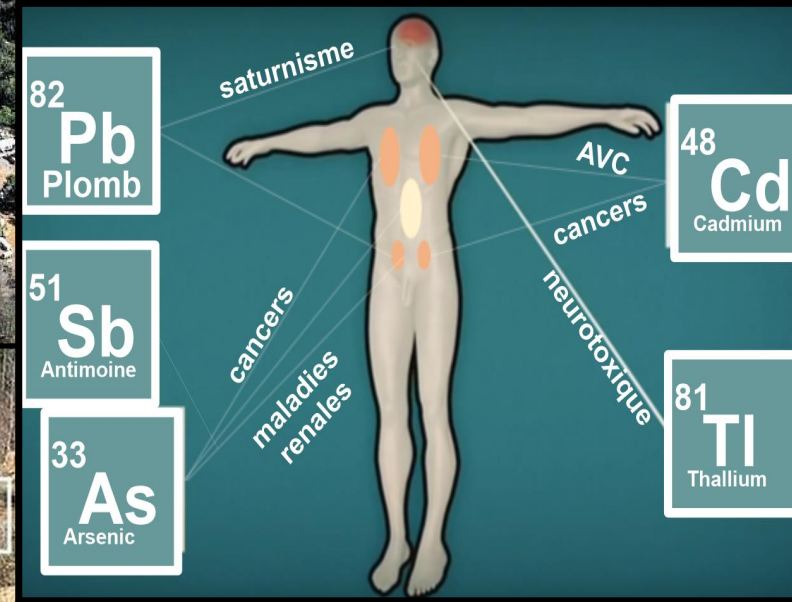
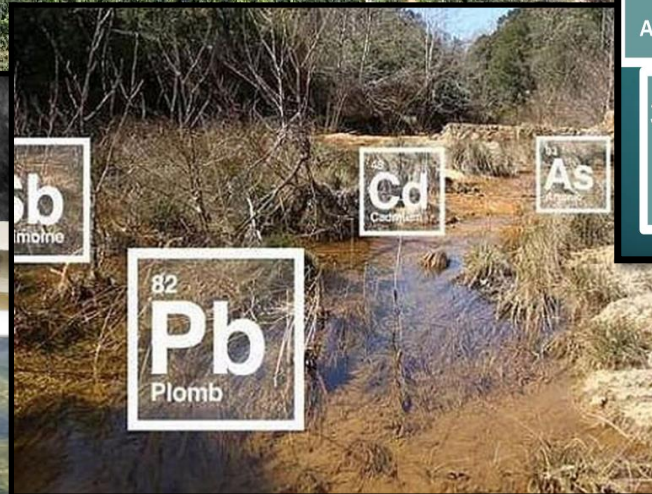
+3 000 000 tonnes de déchets miniers enfouis dans les sols

+600 cas de saturnisme, 50 cas de cancers, +plaintes contre X

Une activité minière passé: 123 ans,



80 000 t de Zn,  
34 000 t de Pb  
520 t Cd  
30t Ag  
28t Ge

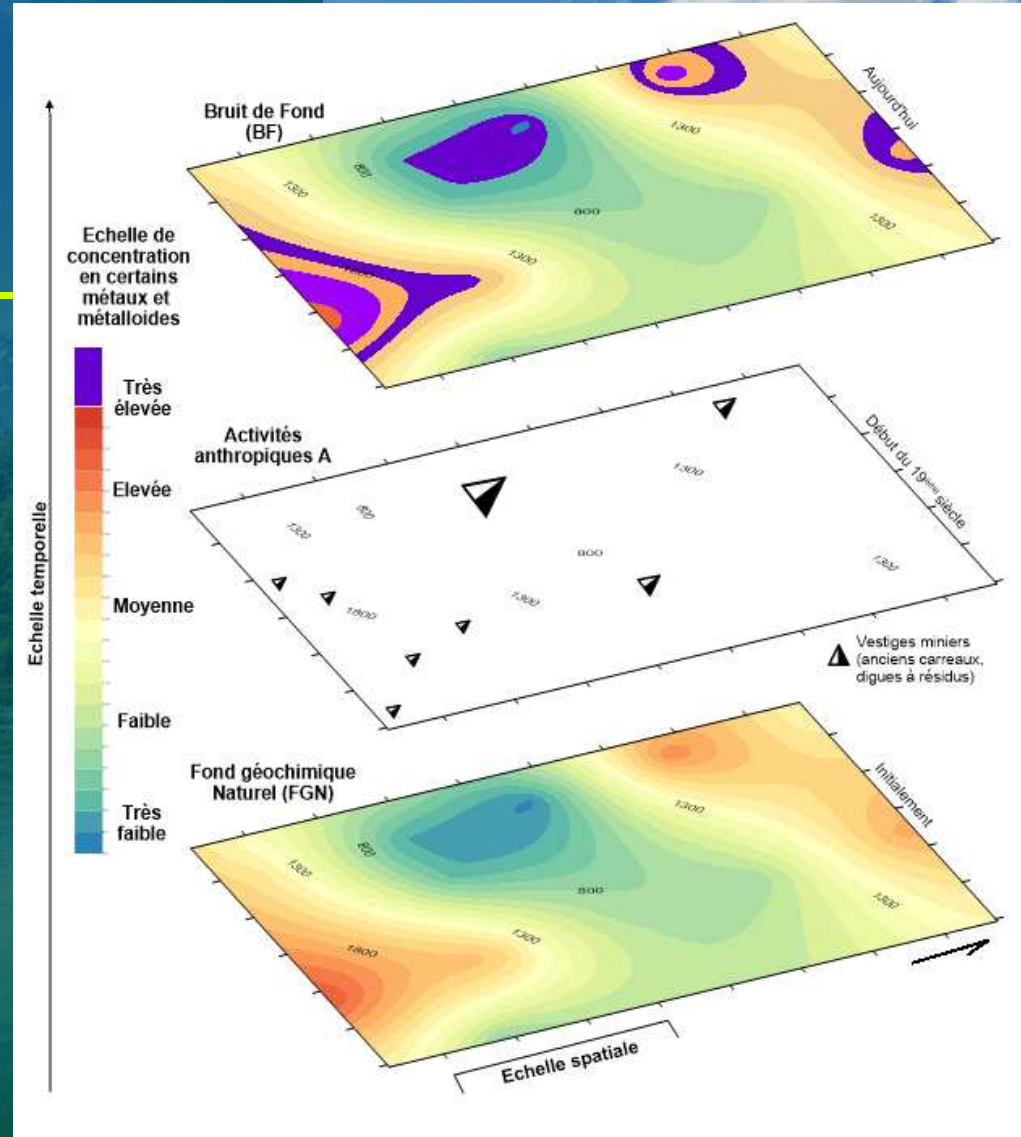


### 3. Analyses et réflexions: (a) une approche méthodologique nouvelle

- ✓ Classification géochimique par la conception et la mise en œuvre d'un opérateur d'agrégation multicritère

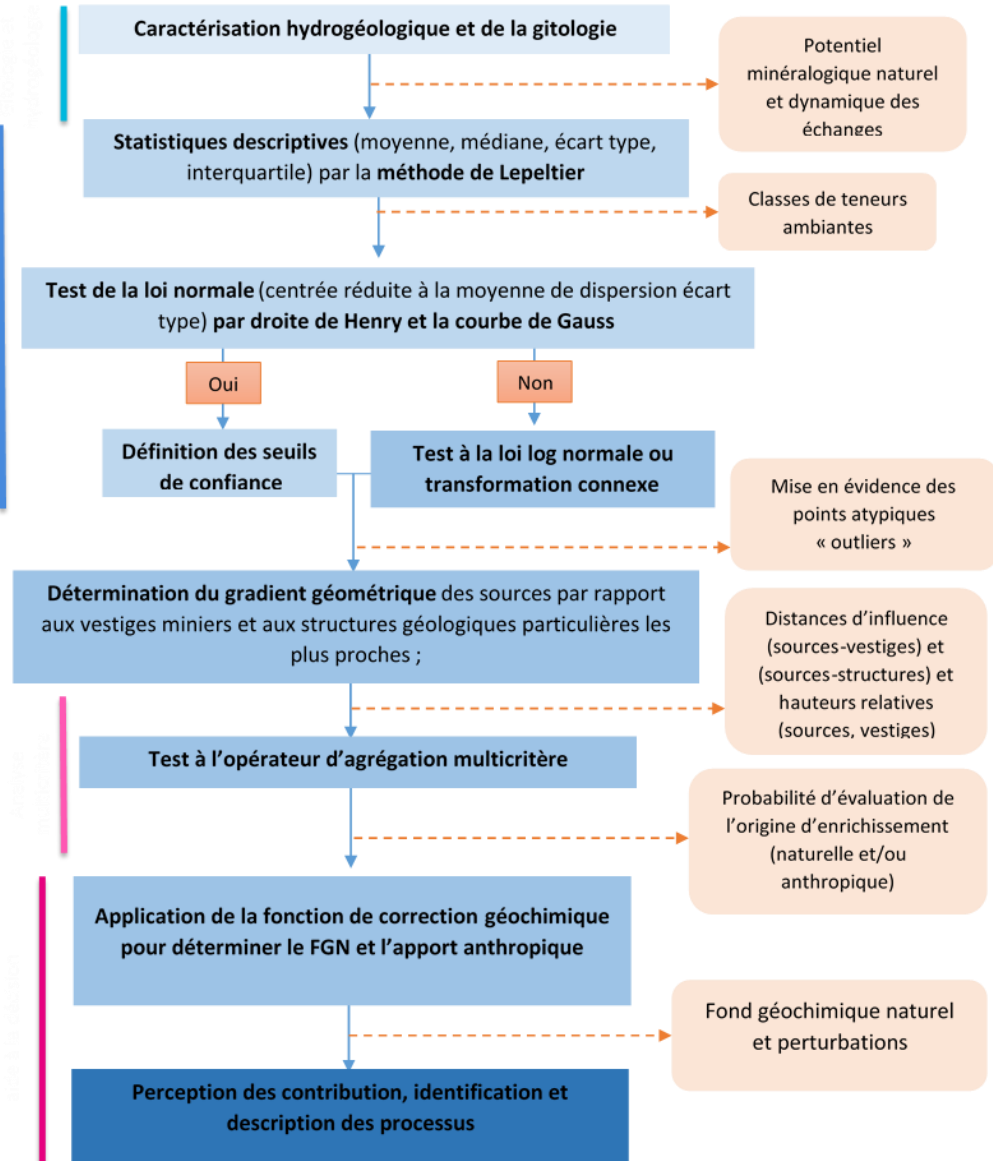
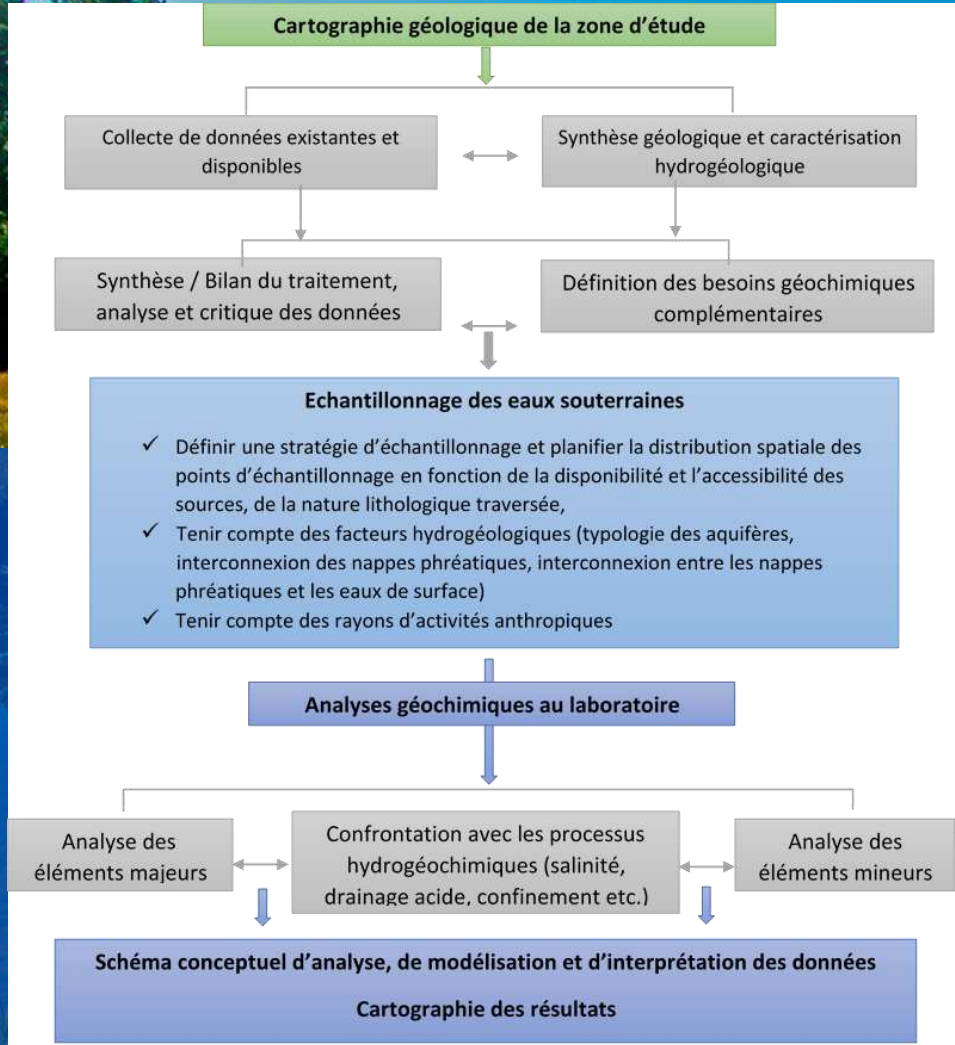
$$\phi^{(\text{mesure})} = \text{BF} = \text{FGN} \wedge \text{A}$$

- ✓ Cartographie des points d'anomalies identifiés
- ✓ Définition des scénarii d'intervention autour de la gestion de ces points d'anomalie dans le cadre d'une démarche d'écologie territoire



# 3. Analyses et réflexions:

## (b) Mise en œuvre de la méthodologie



# Conclusion

Cévennes mère d'histoires, terre de bien être

« Un problème sans solution est un problème mal posé. » Albert Einstein

# Fabienne ERRERO (IMT Mines Alès)

**Résumé :** Ce projet de thèse a ainsi pour objectif d'étudier les dynamiques d'évolution des interactions socio-écologiques au sein du haut bassin versant des Gardons du XIXème siècle à nos jours. Les Cévennes gardoises sont caractérisées par un socle géologique à fortes teneurs en métaux (arsenic, plomb, antimoine et cadmium), ou ayant permis, localement, l'exploitation de gisements de charbon, à ciel ouvert et en souterrain. L'industrie minière a ainsi contribué à façonner, dès le début du XIXème siècle, le territoire cévenol, son environnement, sa population, ses paysages. La désindustrialisation et le développement des activités touristiques induisent aujourd'hui de profondes modifications territoriales. L'identité de ce territoire cévenol oscille aujourd'hui entre deux pôles difficilement conciliables : héritage de ce passé minier, d'une part, et patrimoine environnemental exceptionnel, d'autre part. Ce double encrage est source d'incertitudes et de tensions. Il est nécessaire pour l'évolution future de ce territoire de caractériser l'ancrage historique qui servira de base pour la proposition de scénarios d'évolution.





**IMT Mines Alès**  
École Mines-Télécom

Avec le co-financement de :



# Trajectoires Cévenoles

« Etude des dynamiques d'évolution des interactions socio écologiques au sein du haut bassin versant des Gardons du XIXème siècle à nos jours »

**2020-2023**

Etablissement : IMT Mines Alès (Ecole nationale supérieure des mines d'Alès)

Centre de recherche et d'enseignement : Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel (LGEI).

Equipe : ERT Eau Ressource Territoire

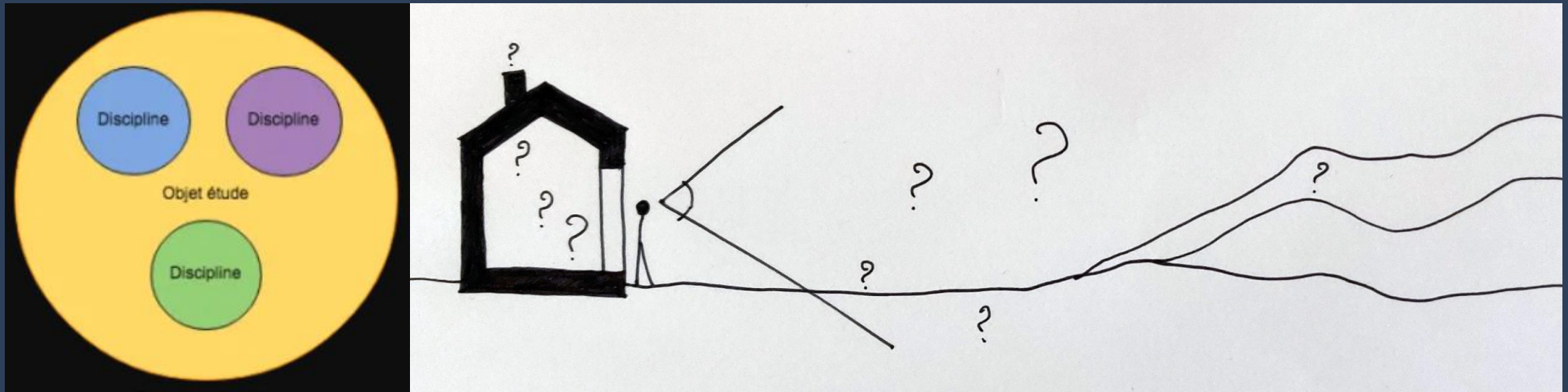
Doctorante: Fabienne Errero

Directeurs de thèse :Guillaume Junqua (IMT Mines Alès) et Patrick Lachassagne (HydroSciences Montpellier)

Encadrantes : Juliette Cerceau (IMT Mines Alès) et Christelle Gramaglia (G-EAU)



## Inter/Transdisciplinarité



# Description du sujet

## Une rapide esquisse du territoire



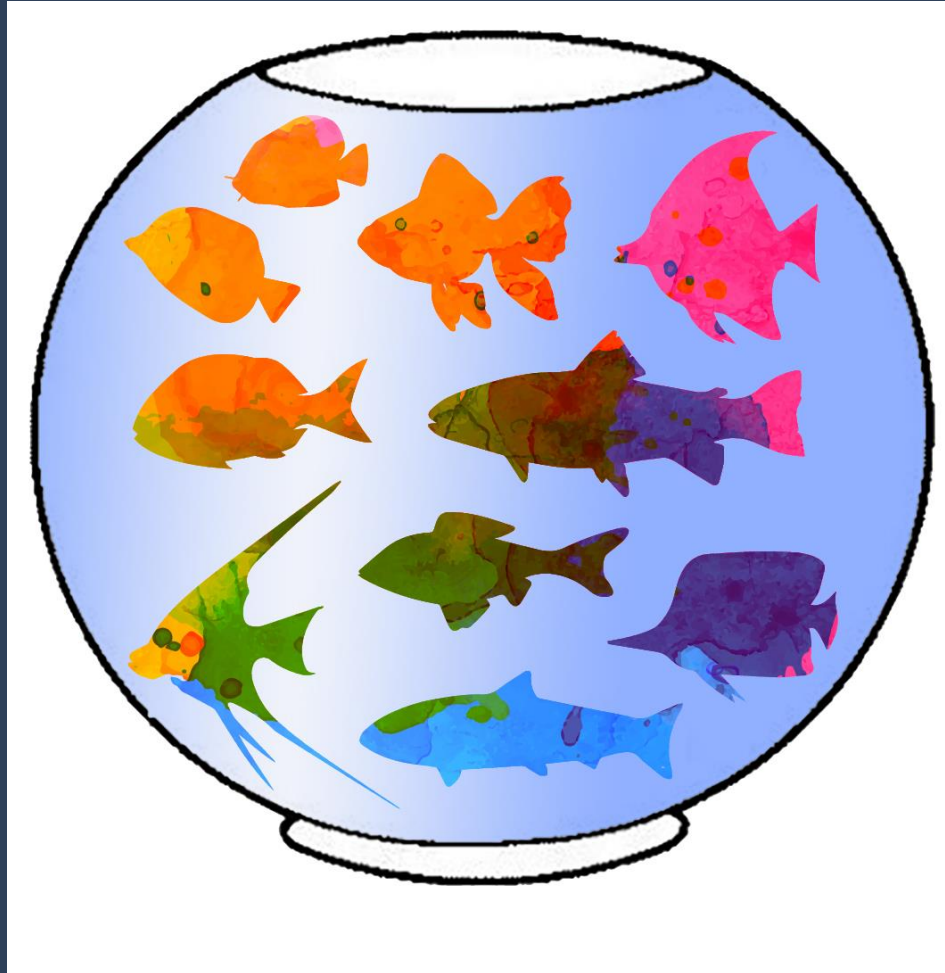
## Axes d'étude



A word cloud representing research axes. The most prominent words are 'Gouvernance', 'Durabilité sociale', 'Ecologie territoriale', 'Diagnostique territorial', 'Habitat', 'Spatialité', and 'Echelle'. Other visible words include 'Sobriété', 'Transmission', 'Sociologie visuelle', 'Agir commun', 'Controverse', 'mémoire', 'capabilité', 'Co-création', 'Nature cultivée', 'Anthropocène', 'Nature culturalisée', 'Temporalité', 'Phénoménologie', 'Equilibre écosystémique', and 'Ressources matérielles et immatérielles'.

Equilibre écosystémique  
Ressources matérielles et immatérielles  
Nature cultivée  
Gouvernance  
Anthropocène  
Sobriété  
Durabilité sociale  
Agir commun  
Nature culturalisée  
Ecologie territoriale  
Controverse  
Diagnostique territorial  
Temporalité  
Phénoménologie  
Transmission  
Sociologie visuelle  
mémoire  
capabilité  
Habitat  
Spatialité  
Co-création  
Echelle

# Expectatives



# Maxime GILLET (Université de Nîmes)

**Résumé** : En s'appuyant sur le programme de recherche HydroPop, ce travail de thèse cherche à caractériser le rôle des eaux souterraines en situation de basses eaux sur les rivières cévenoles. L'étude se base principalement sur une approche géochimique couplée à une analyse hydrologique et géologique. L'approche choisie aura dans un premier temps comme but de caractériser les différentes masses d'eaux présentes sur le bassin. Cette caractérisation permettra d'investiguer l'origine géologique de ces masses d'eau contribuant au débit des cours d'eau étudiés ainsi que de suivre l'évolution de cette contribution durant la période d'étiage. Au vu de ces résultats les questions de sensibilité aux étiages des sous bassins et de quantification des apports en eau des différents ensembles géologiques seront traitées. Le terrain d'investigation choisi est le bassin versant du Gardon d'Anduze. Ce choix a été fait pour à la fois étudier un bassin versant relativement peu anthropisé et problématique vis-à-vis des problématiques de basses eaux et de bénéficier des nombreuses données déjà collectés sur ce bassin.

# RÔLES DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES ÉTIAGES DES RIVIÈRES CÉVENOLES

Suivi à haute résolution spatiale et temporelle pour une meilleure compréhension des étiages

Maxime Gillet

Directeurs de thèse :  
Corinne Le Gal La Salle  
Pierre Alain Ayrat



Peut-on identifier les réservoirs géologiques contribuant aux débits d'un cours d'eau en étiage puis quantifier leurs contributions ?

L'analyse spatiale de l'origine des eaux de surface, un élément clé pour comprendre l'évolution des débits des cours d'eaux cévenols en période d'étiage

La variation saisonnière de la géochimie observée sur les eaux de surface en étiage peut-elle être utilisée comme indicateur de sa sévérité voire comme un proxy pour le calcul du débit des cours d'eau cévenols ?

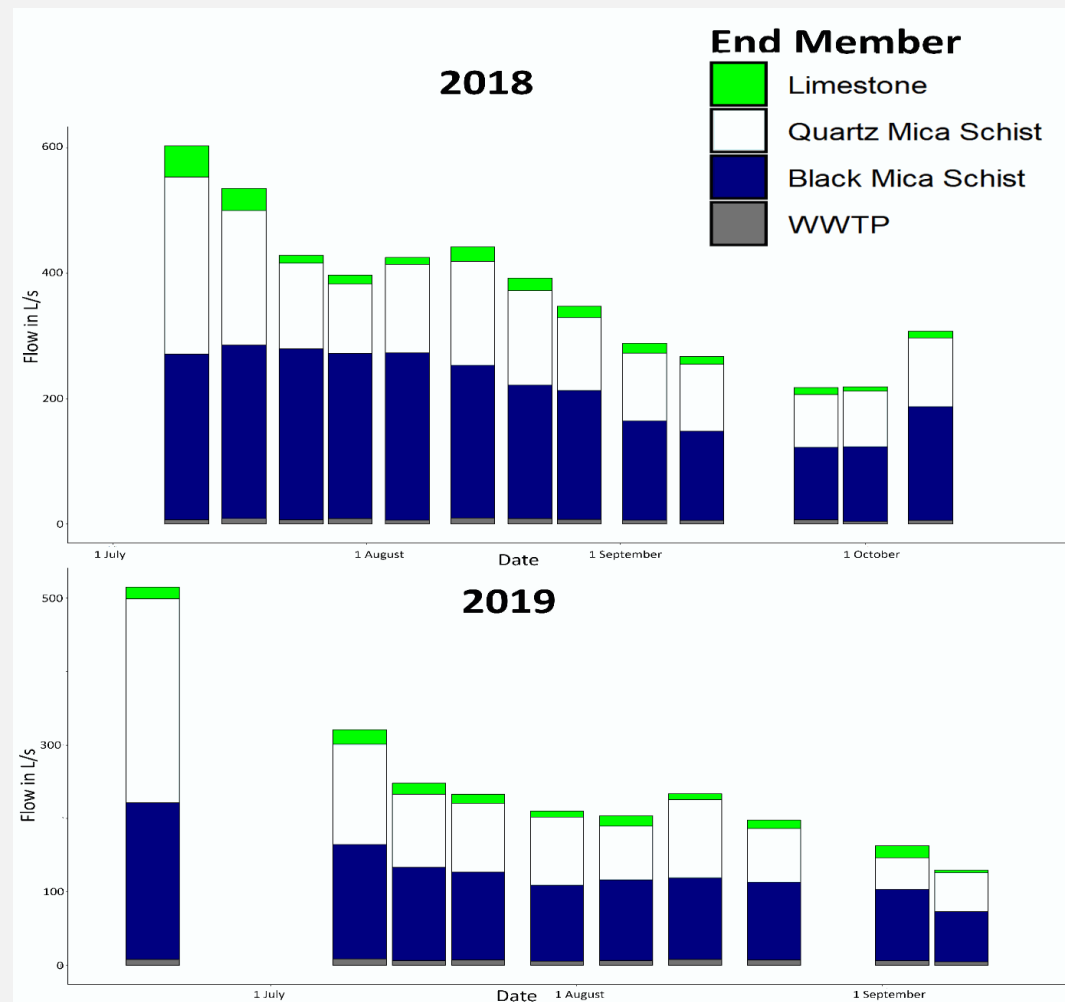
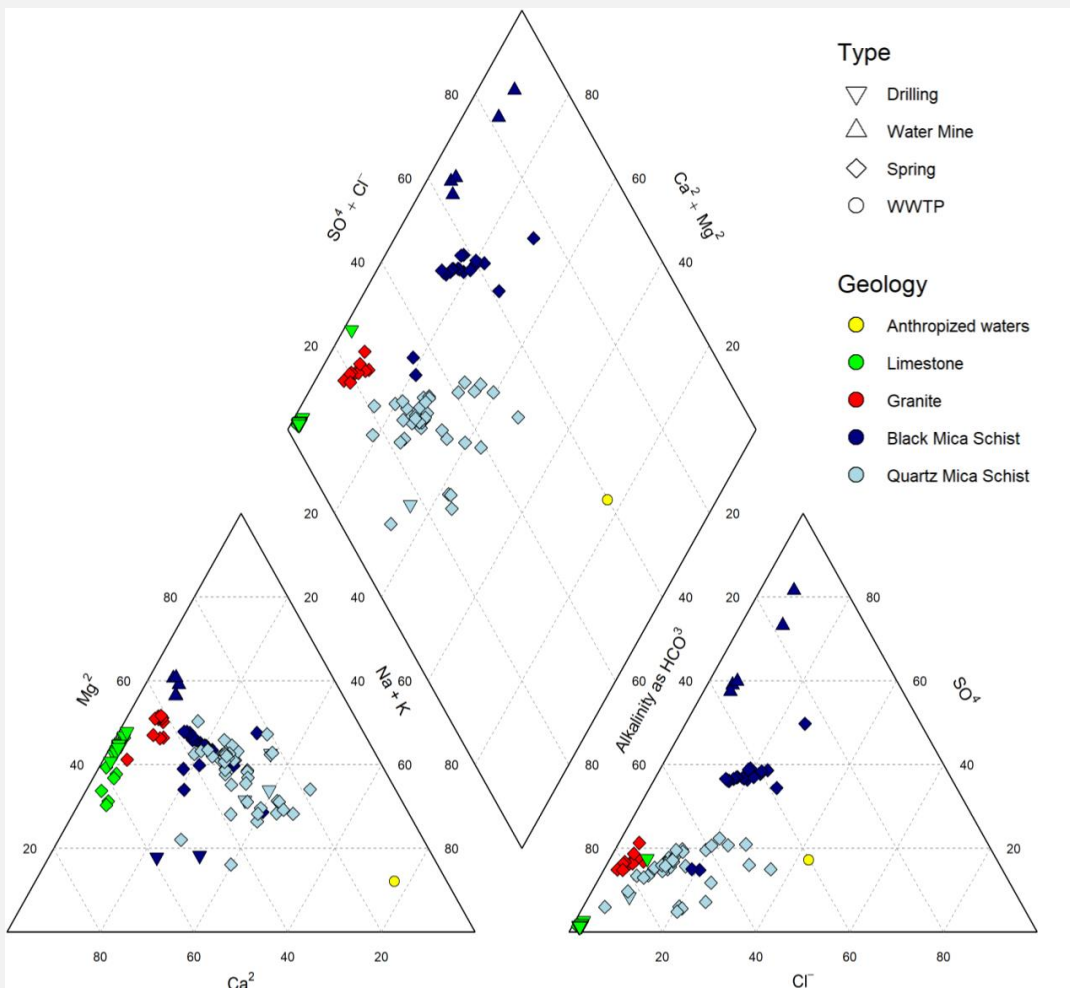
# Méthodologie

- ❑ 3 campagnes comptant de suivi des étiages comprenant près de 800 échantillons collectés
- ❑ Identification des pôles géochimiques selon leurs géologies par l'analyse des eaux souterraines
- ❑ Validation des pôles définis par l'analyse de lixiviats de roche
- ❑ Utilisation du modèle de mélange Glue-EMMA couplé aux mesures de débits réalisées par l'UMR ESPACE pour quantifier les contributions

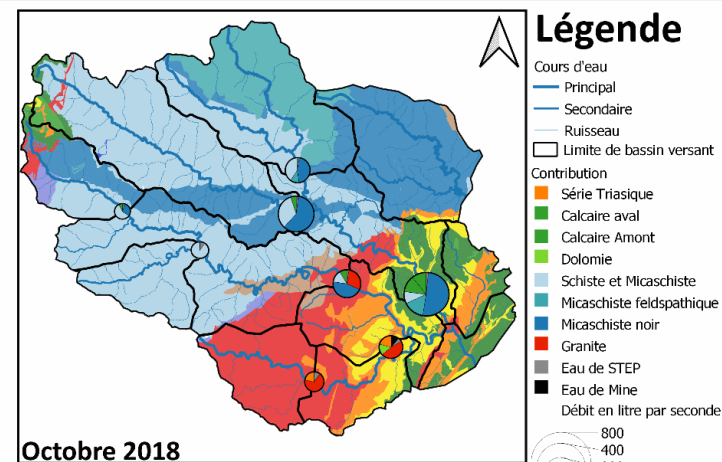
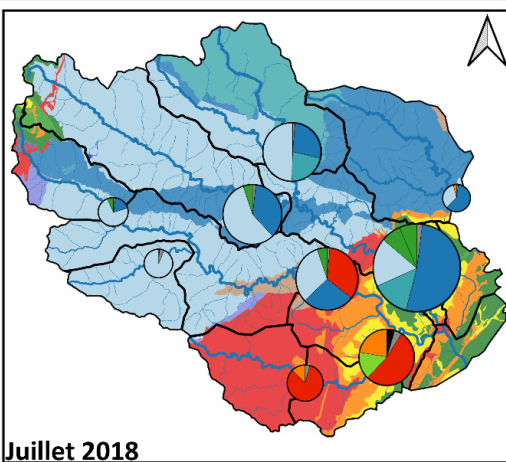
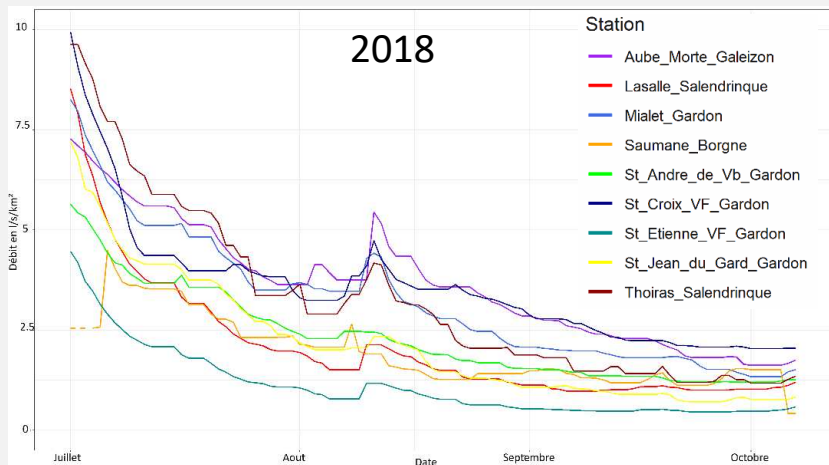




# Peut-on identifier les réservoirs géologiques contribuant aux débits d'un cours d'eau en étiage puis quantifier leurs contributions ?



# L'analyse spatiale de l'origine des eaux de surface, un élément clé pour comprendre l'évolution des débits des cours d'eaux cévenols en période d'étiage?

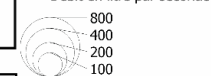


## Légende

- Cours d'eau
- Principal
- Secondaire
- Ruisseau
- Limite de bassin versant

### Contribution

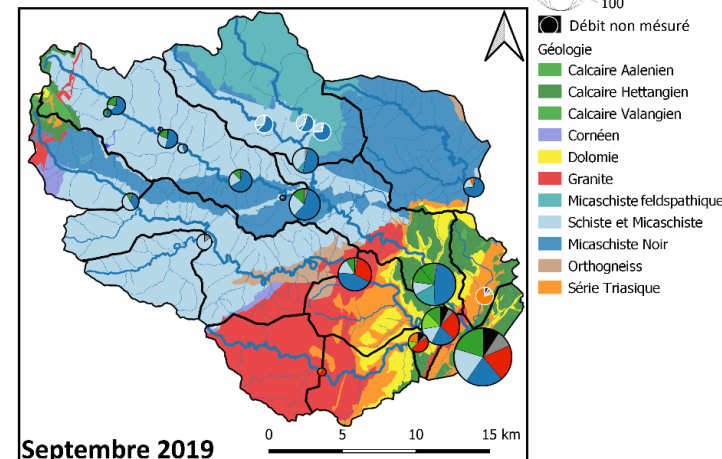
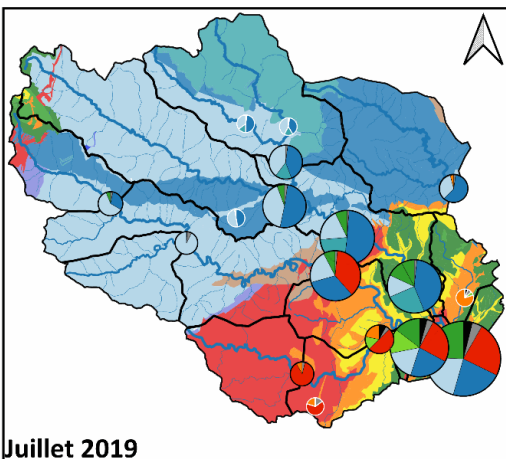
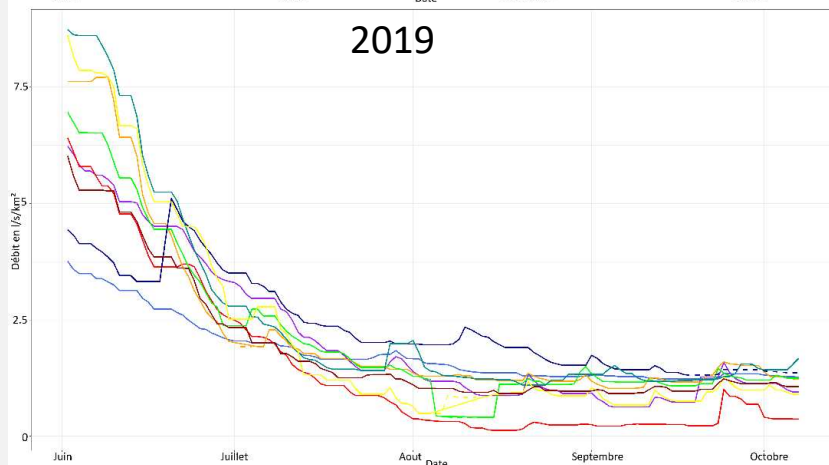
- Série Triasique
- Calcaire aval
- Calcaire Amont
- Dolomie
- Schiste et Micaschiste
- Micaschiste feldspathique
- Micaschiste noir
- Granite
- Eau de STEP
- Eau de Mine



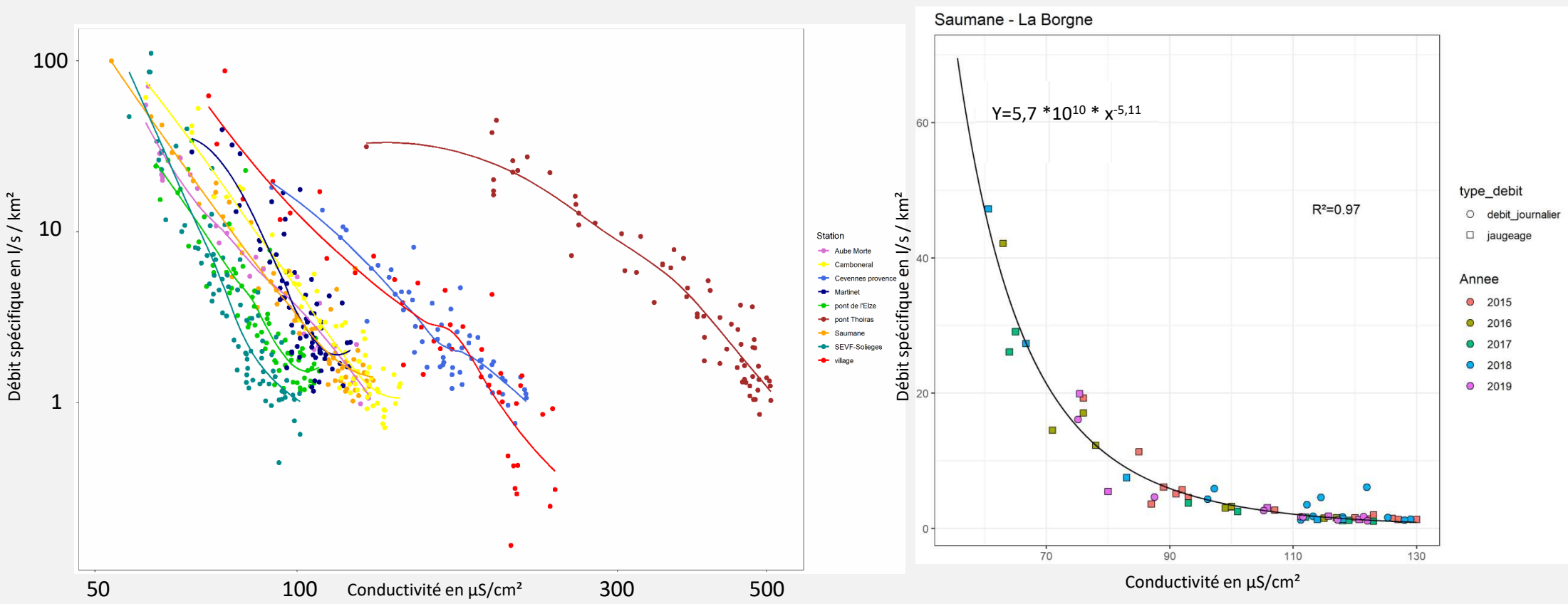
● Débit non mesuré

### Géologie

- Calcaire Aalenien
- Calcaire Hettangien
- Calcaire Valangien
- Cornéen
- Dolomie
- Granite
- Micaschiste feldspathique
- Schiste et Micaschiste
- Micaschiste Noir
- Orthogneiss
- Série Triasique



La variation saisonnière de la géochimie observée sur les eaux de surface en étiage peut-elle être utilisée comme indicateur de sa sévérité voire comme un proxy pour le calcul du débit des cours d'eau cévenols ? comprenant



# Hadrien DI COSTANZO (Avignon Université)

**Résumé :** La sécheresse est un phénomène récurrent en France métropolitaine, mais elle affecte parfois différemment le sud-est de la France et le reste du territoire comme en 1976 et 2015 ; l'année 2017 ayant été fortement déficitaire en Languedoc. On se souvient encore de celle de 2003 (doublée d'une canicule) et peut être moins de celles de 1945 et de 1921. L'analyse historique des périodes de sécheresse du XXe siècle montre que celle-ci s'installe progressivement et qu'elle peut peser sur un territoire pendant plusieurs années. C'est souvent un phénomène de grande extension ce qui limite les péréquations territoriales et qui pourrait mettre en difficulté la gouvernance locale, voire nationale. L'impact sur la société peut ainsi être important (cf. la situation de la Californie). Le changement climatique produit une augmentation des températures et affecte la couverture neigeuse ce qui conduit, par exemple, à attendre une baisse des débits de la Durance et du Rhône en été (-30%) dans les prochaines années. Il affecte et affectera l'impluviosité (l'absence de pluies; périodes longues sans pluies notables) de l'aire méditerranéenne. En fonction de la caractérisation locale des besoins en eau comment modéliser le niveau de la situation de tension (sous critique, critique, sur critique) et son évolution (installation de la sécheresse). L'objectif étant d'avoir un outil qui permette de comprendre la situation observée et/ou à venir et qui permette de déployer la gouvernance appropriée, la gestion territoriale la plus satisfaisante.

# Regards croisés sur les rivières cévenoles – Journée d'échanges autour du site atelier des rivières cévenoles

**De l'impluviosité à la sécheresse dans le sud-est de la France :  
entre aridité et tension sur la ressource en eau**

Codirecteurs de thèse :

Delphine Blanke (LMA) & Philippe Martin (ESPACE)

**Hadrien Di Costanzo première année de thèse**



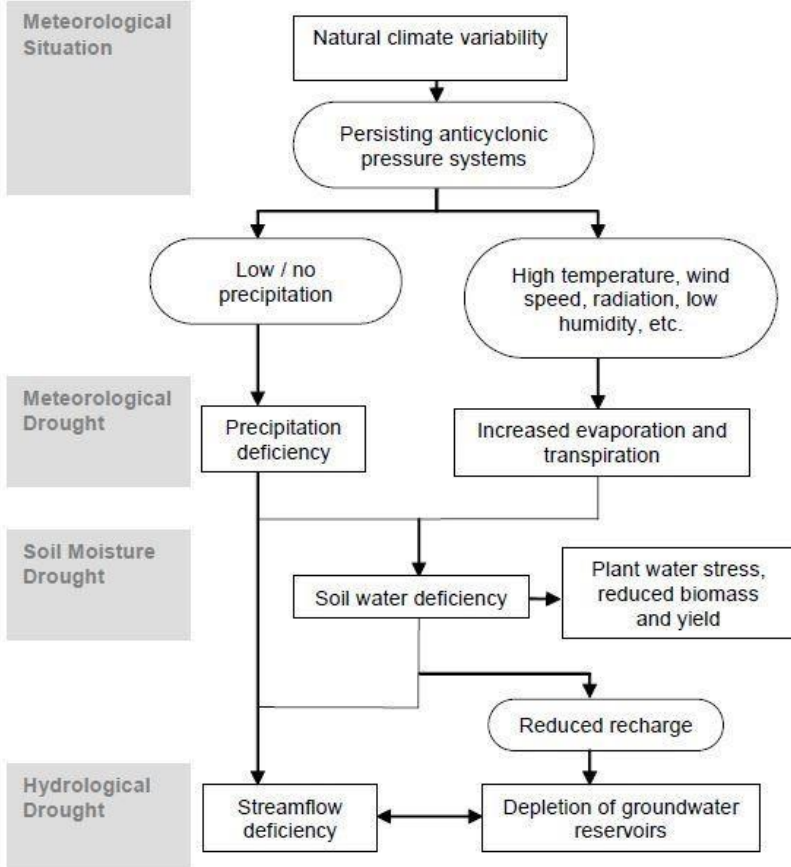
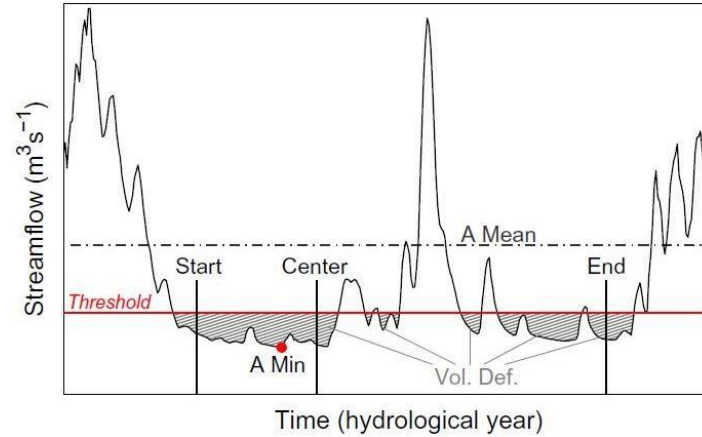


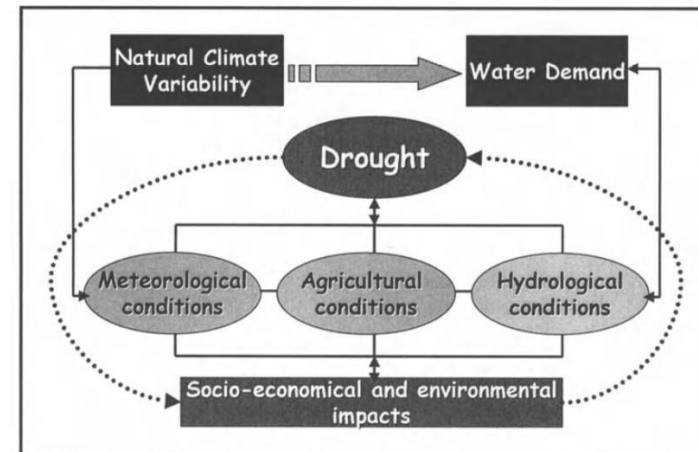
Figure 1.2 Propagation of drought through the hydrological cycle (modified from Stahl, 2001).

D'après Tallaksen et van Lanen, 2014



D'après Giuntoli et al., 2013

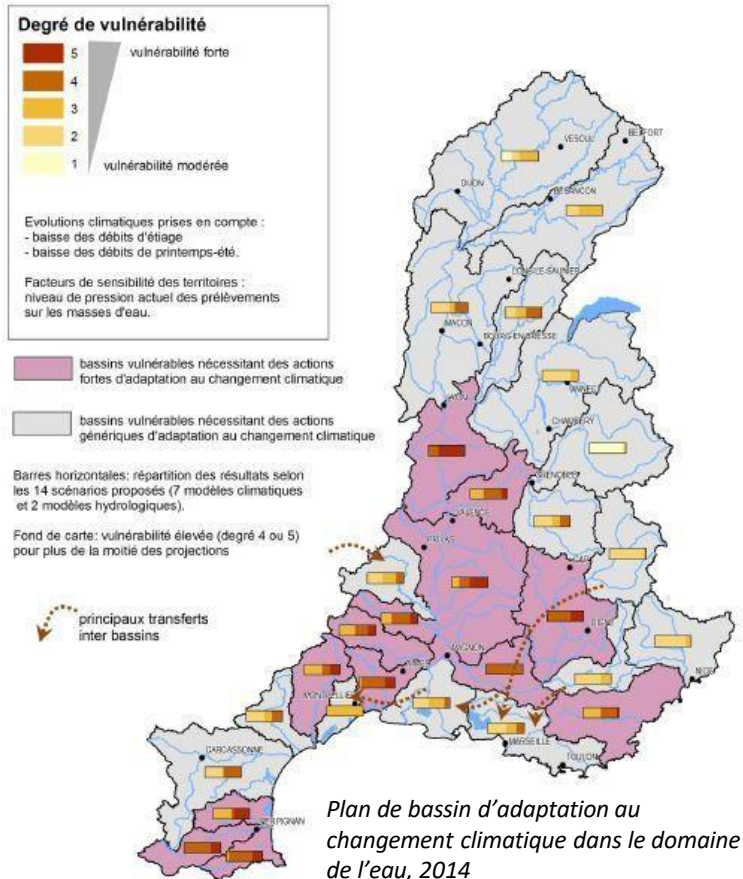
Approche en géographie



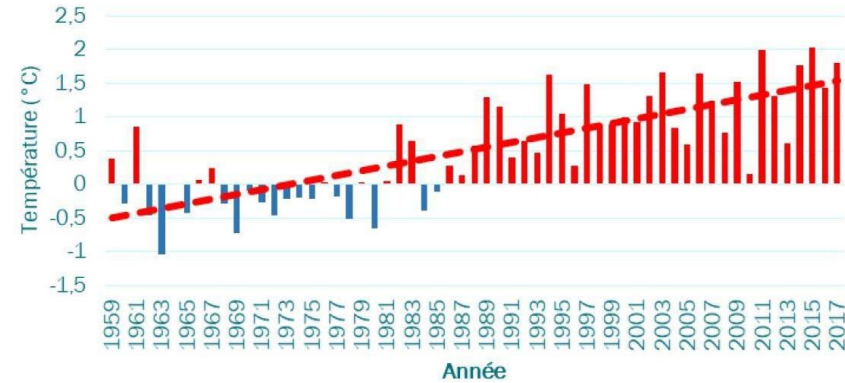
D'après Vogt et Somma, 2000

## Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu disponibilité en eau

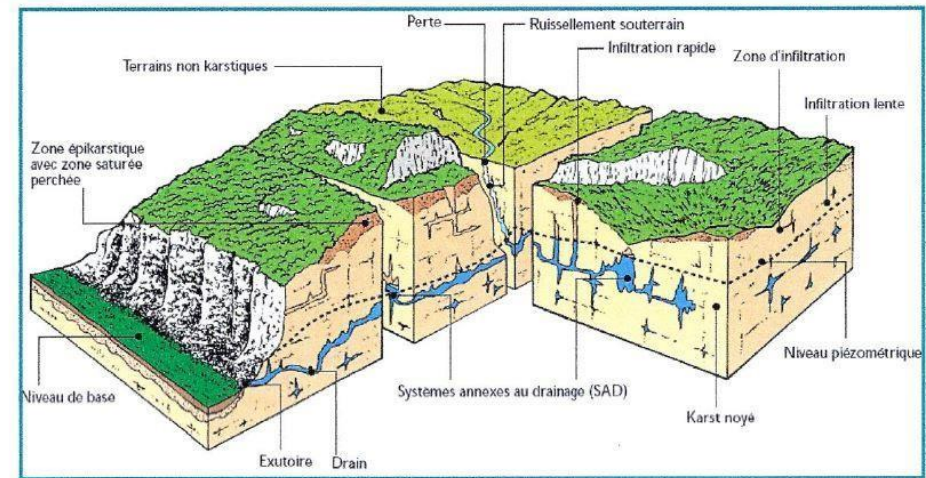
Incidences du changement climatique sur les déséquilibres quantitatifs superficiels en situation d'été (compte tenu des aménagements actuels)



## Secteur Cévennes



Evolution des températures en Cévennes d'après le rapport Eau et Climat 3.0 (données Safran), 2020



Organisation d'un karst d'après Agence de l'Eau RMC, 2020

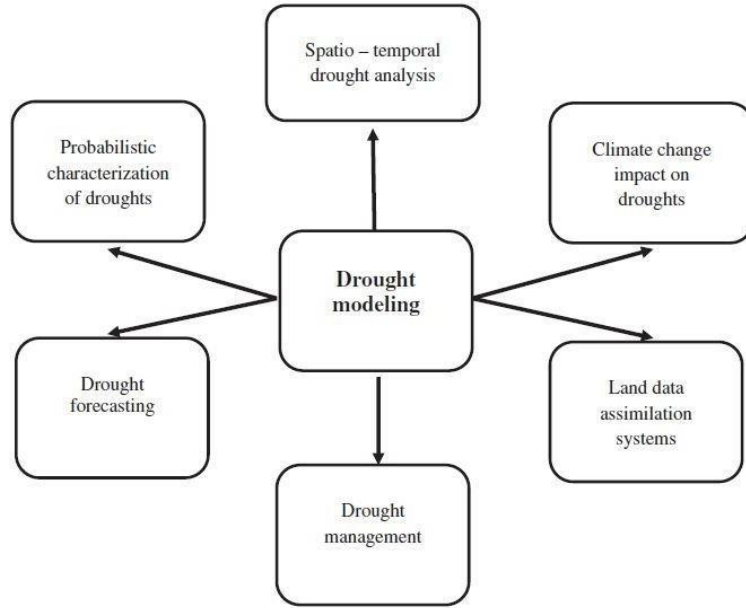


Fig. 1. Different components of drought modeling.

D'après Mishra et Singh, 2011

Vers un modèle d'estimation d'un niveau d'aridité et d'un niveau de consommation d'eau

**Estimation de la tension sur la ressource en eau**

## Méthodologie

### *Approche classique de la sécheresse*

- Indicateurs de sécheresse (tarissement, séquence sèche...)
- Régionalisation des basses eaux (modèle statistique fréquentiste)
- Bilan de masse

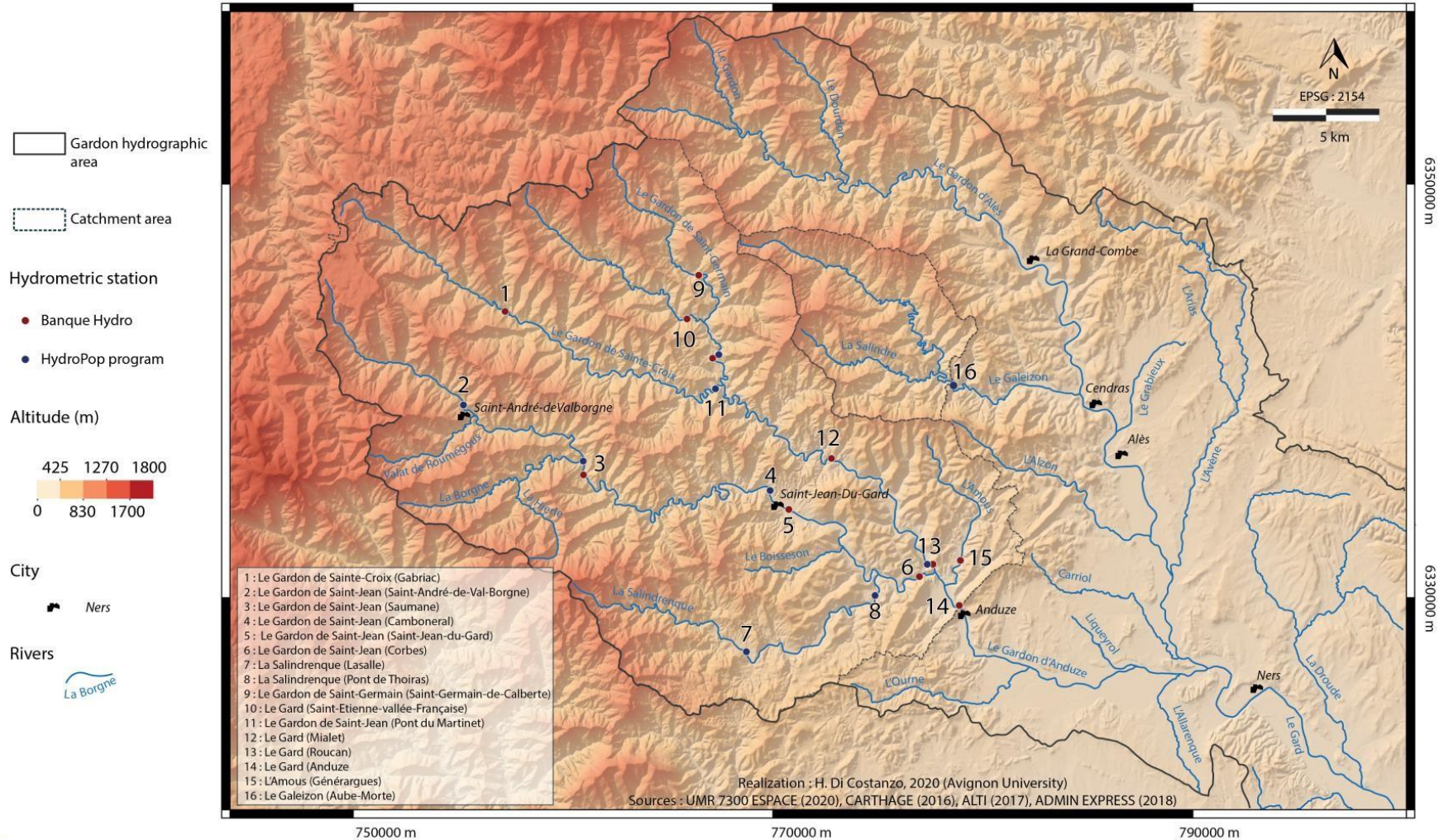
### *Approche bayésienne*

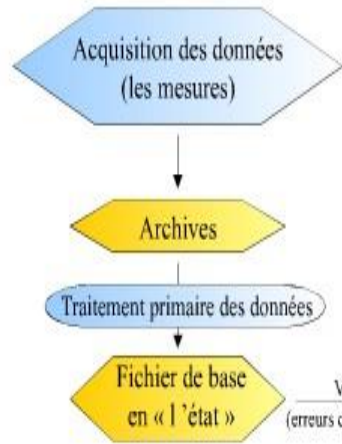
- Construire un raisonnement à partir des données et des dires d'experts
- Intégrer différents indicateurs pour estimer une tension entre la ressource
- Estimation sous forme de probabilité d'une situation de sécheresse
- Construire un outil d'aide à la décision



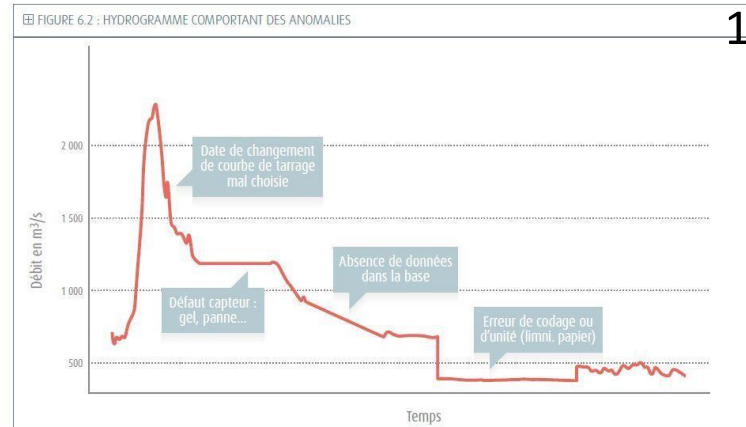
Types de sécheresse	Indicateurs	Données
<b>Atmosphérique</b>	Précipitation, Pluie utile, Séquence sèche, ETP, Indicateur d'aridité...	<b>Stations Météo France</b>
<b>Hydrologique (souterraine et de surface)</b>	Etiage, Coefficient de tarissement, BFI, Volume dynamique...	<b>Réseaux d'étiage HydroPop, Banque Hydro</b>
<b>Edaphique</b>	Déficit d'évaporation, ETR, NDVI...	<b>Satellite Modis</b>
<b>Sociétale</b>	Consommation d'eau, Population, Usage agricole, Arrêté de sécheresse...	<b>BNPE, AGRESTE, INSEE, Propluvia</b>

## Low flow water hydrometric network : Gardon upstream of Ners (2015 - 2020)

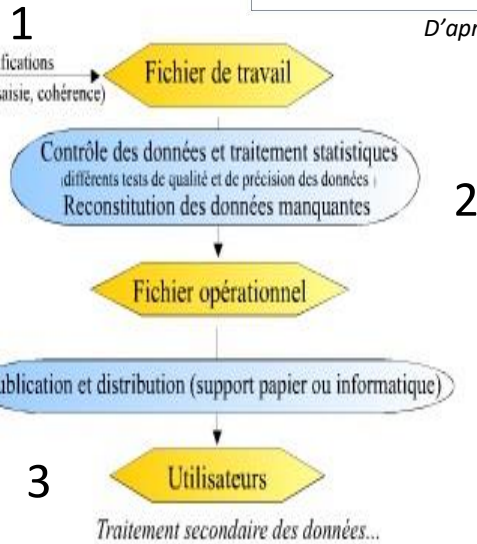
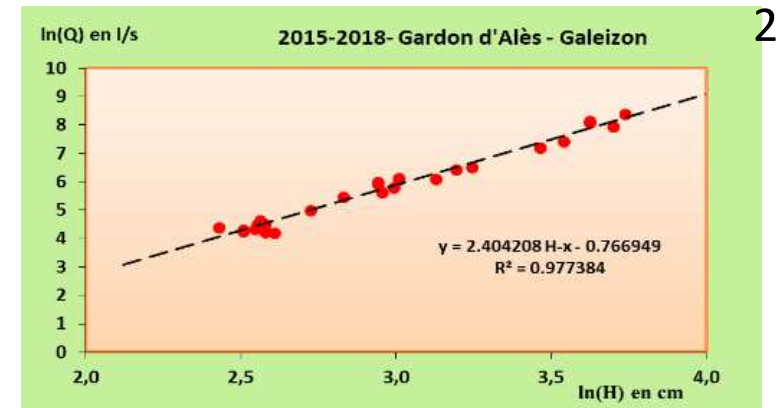




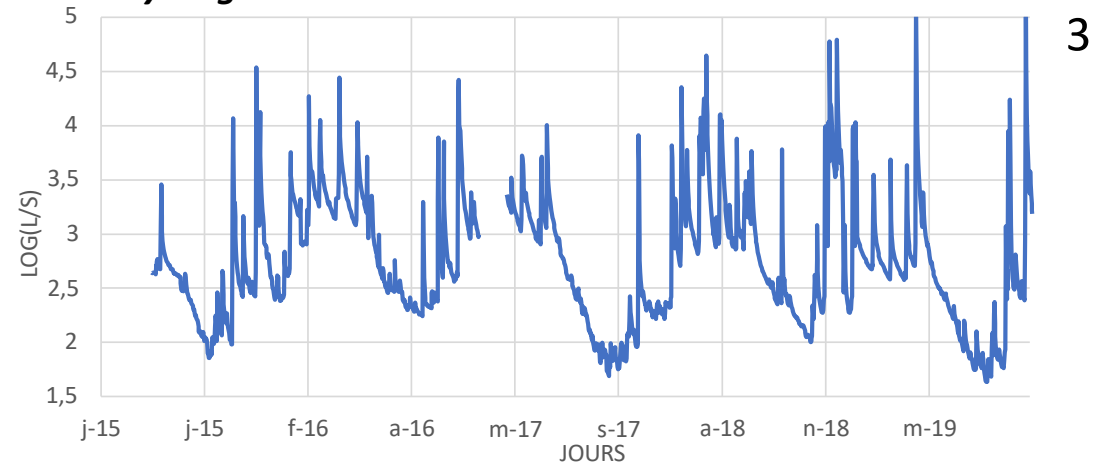
Protocole d'archivage et de diffusion de la donnée d'après Musy et al., 2014

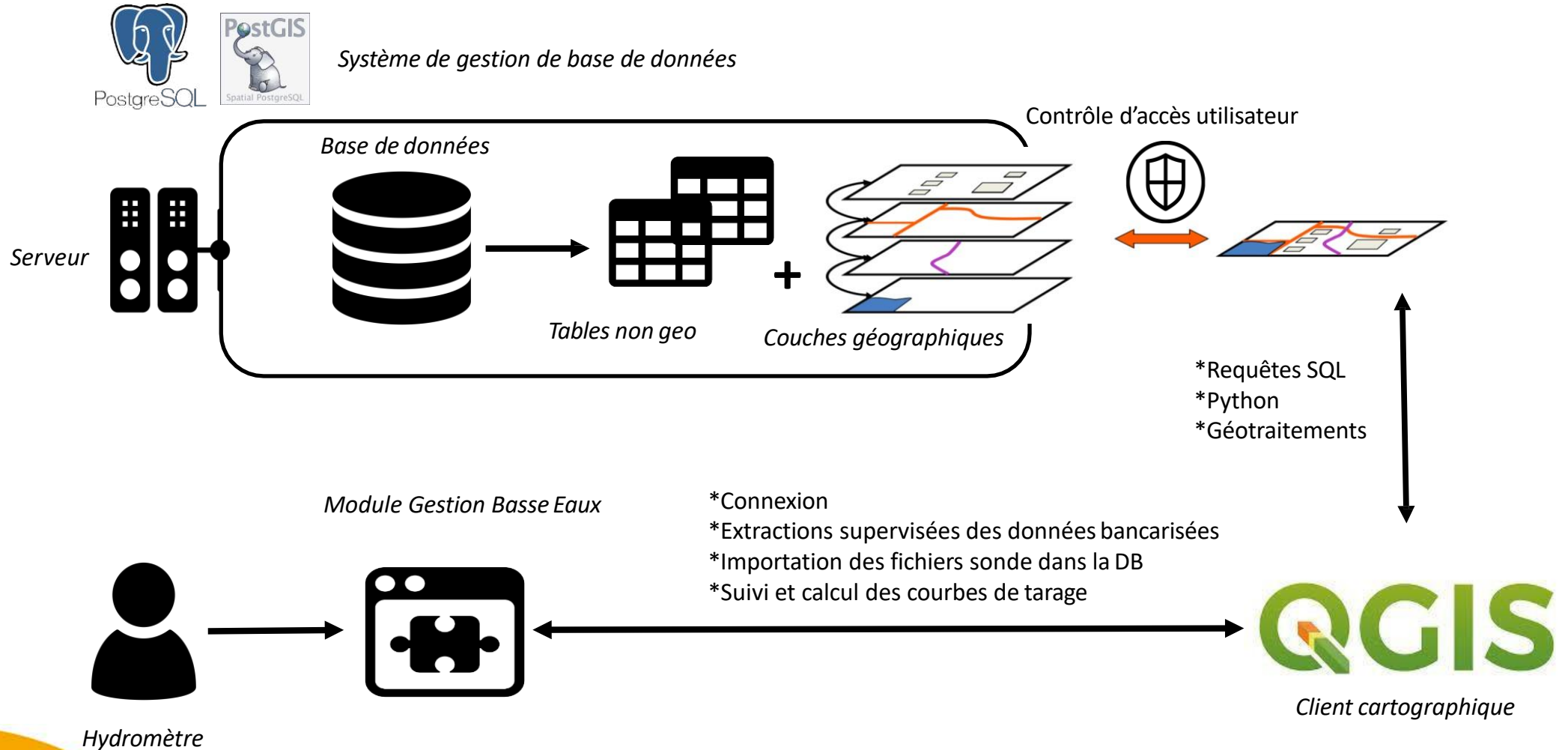


D'après Charte qualité de l'hydrométrie, 2017



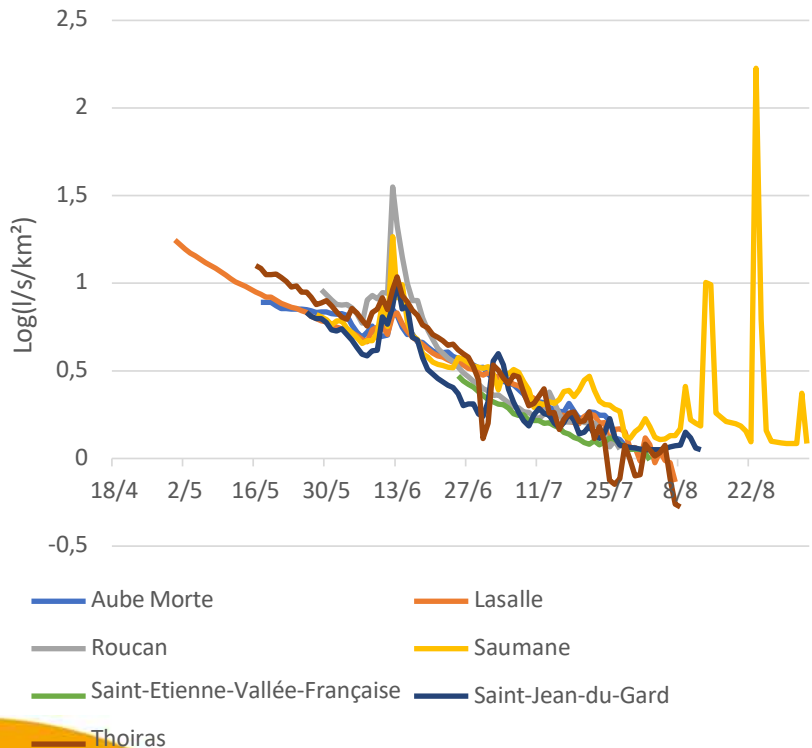
Hydrogramme du Galeizon à la station de l'Aube morte





## Analyse des phases de récession sur les bas débits des affluents du Gardon 2015-2020

Recession Gardon 2015



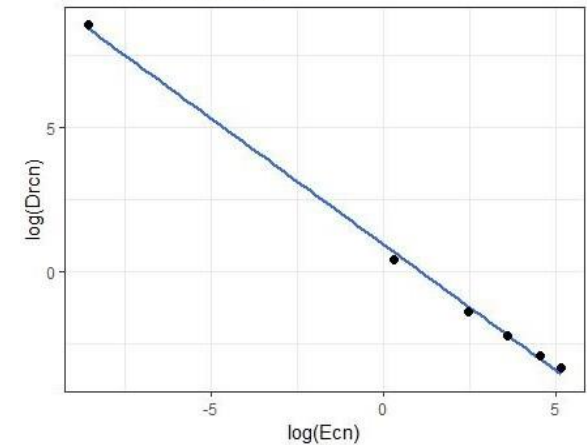
Valider des indicateurs pertinents (distributions de probabilité) à entrer dans un modèle bayésien.

Analyse parétienne discrète des sécheresses (effectifs de débits par classes)

A venir...

- Géographie de l'impluviosité
- Estimation des basses eaux sur bassins non jaugés
- Construction du modèle bayésien

Relation de puissance Generargue 1962-2016  
Qj 129 jours avant l'étiage



*D'après Martin et al., 2020 (accepté)*

*Merçi pour votre attention !*

Le Luech à Chamboredon (23/07/19)

© Di Costanzo

# CLÔTURE



27 novembre 2020



**Pluridisciplinaire**  
**Complexité**  
**Enrichissant**  
**Diversité**  
**Futur**  
**Pollution**  
**Sécheresse**  
**Lien**  
**Temporalité**  
**Multi**  
**Action**  
**Recherche**  
**Territoire**  
**Enjeux**  
**Gouvernance**  
**Participatif**  
**Matériel**  
**Patrimoine**  
**Inondations**  
**Critère**  
**Immatériel**



# Regards croisés sur les rivières cévenoles – journée d'échanges autour du site atelier des rivières cévenoles



*Organisation : Pierre-Alain AYRAL, Juliette CERCEAU, Guillaume JUNQUA et Antoine FRICARD (IMT Mines Alès)*



27 novembre 2020

