



HAL
open science

L'hydrosystème karstique de Saint Pons (Gémenos, 13) : état des lieux hydrochimique, modélisation pluie-Débit et impact du changement climatique.

Carla Villalon, Manon Cayuela, Hugo Dubreuil, Arthur Gros, Théo Limousin,
Bruno Arfib

► To cite this version:

Carla Villalon, Manon Cayuela, Hugo Dubreuil, Arthur Gros, Théo Limousin, et al.. L'hydrosystème karstique de Saint Pons (Gémenos, 13) : état des lieux hydrochimique, modélisation pluie-Débit et impact du changement climatique.. Restitution des travaux de recherche interdisciplinaire sur les hydrosystèmes de la Sainte-Baume 2023, Aix-Marseille Université; Parc Départemental de Saint Pons, Dec 2023, Gémenos, France. hal-04396629

HAL Id: hal-04396629

<https://hal.science/hal-04396629>

Submitted on 16 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

14 décembre 2023

L'HYDROSYSTÈME KARSTIQUE DE SAINT PONS : ÉTAT DES LIEUX HYDROCHIMIQUE, MODÉLISATION PLUIE-DÉBIT ET IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Carla VILLALON et Manon CAYUELA

Avec la participation de LIMOUSIN Théo, DUBREUIL Hugo et GROS Arthur

Sous la direction de B. Arfib

Pour citer ce document :

Villalon C., Cayuela M., Dubreuil H., Gros A., Limousin T., Arfib B. (2023) L'hydrosystème karstique de Saint Pons (Gémenos, 13) : état des lieux hydrochimique, modélisation pluie-débit et impact du changement climatique. Université Aix-Marseille. Présentation orale de restitution du Coursus Master Ingénierie, Sciences de l'Eau. Parc Départemental de Saint-Pons. 14/12/2023.

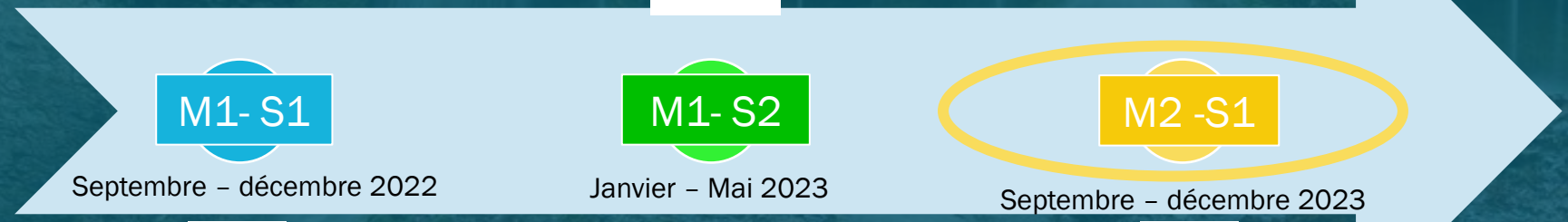
Présentation du projet CMI

Présentation du projet, des problématiques, objectifs et des premiers résultats acquis. Synthèse des recherches bibliographiques menées.

Projet
environnemental
GESTION DE L'ENVIRONNEMENT
mastor GEE

Correction du rapport pour le diffuser aux partenaires. Présenter oralement les résultats obtenus aux partenaires.

Partenaires du projet



M1- S1

M1- S2

M2- S1

Septembre - décembre 2022

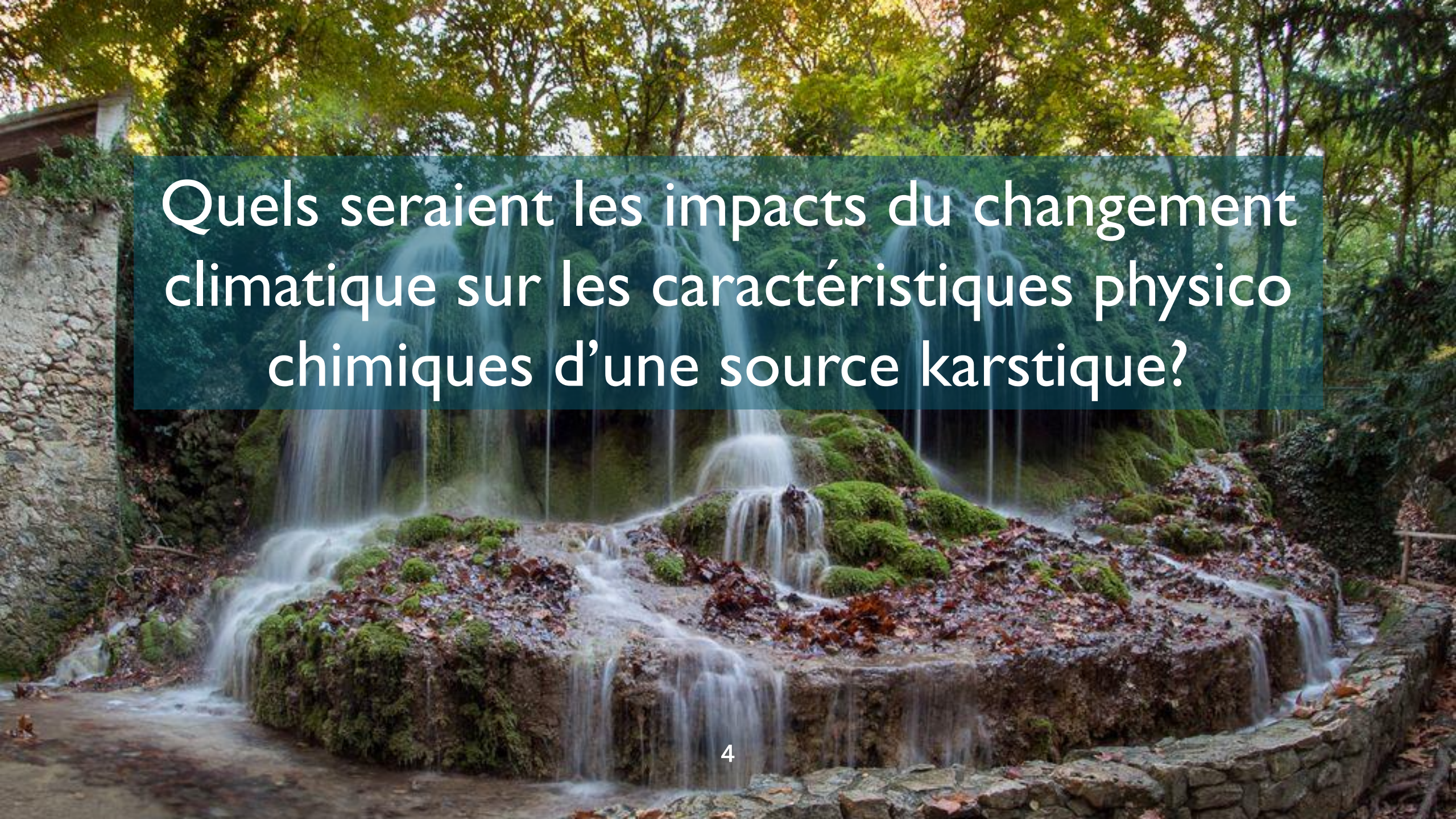
Janvier - Mai 2023

Septembre - décembre 2023



Rédaction d'un rapport de groupe + présentation orale.





Quels seraient les impacts du changement climatique sur les caractéristiques physico-chimiques d'une source karstique?

OBJECTIFS :

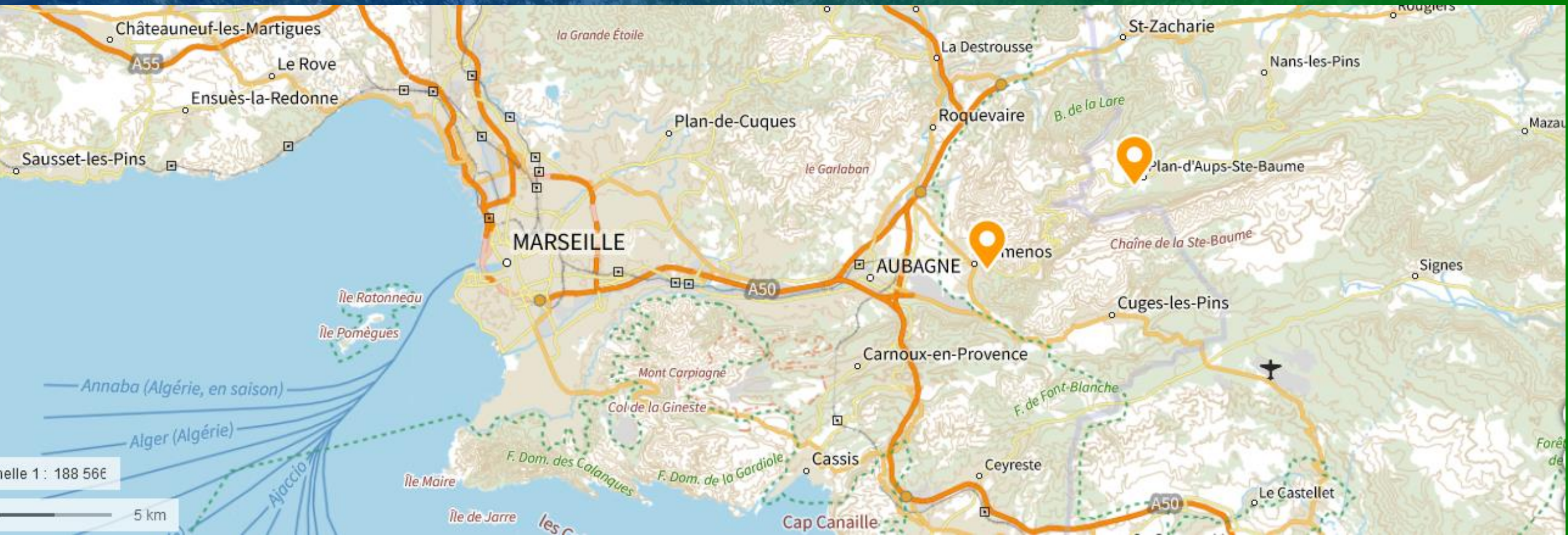
- Synthèse des connaissances sur l'hydrosystème de Saint Pons et sur le changement climatique à plusieurs échelles
 - Etude de la physico-chimie de l'eau de la source
 - Calcul théorique de masse de tufs déposée
- Réalisation d'un modèle pluie débit afin de simuler le débit actuel et de déterminer le débit futur de la source en lien avec le changement climatique

I/ L'hydrosystème de St Pons

Cette partie est inspirée du rapport des années précédentes réalisés par nos camarades (Capoulade Justine - Chevrier Anaïs - Lachour Julien - Lainé Loïse - Octobre 2021 – Décembre 2022).

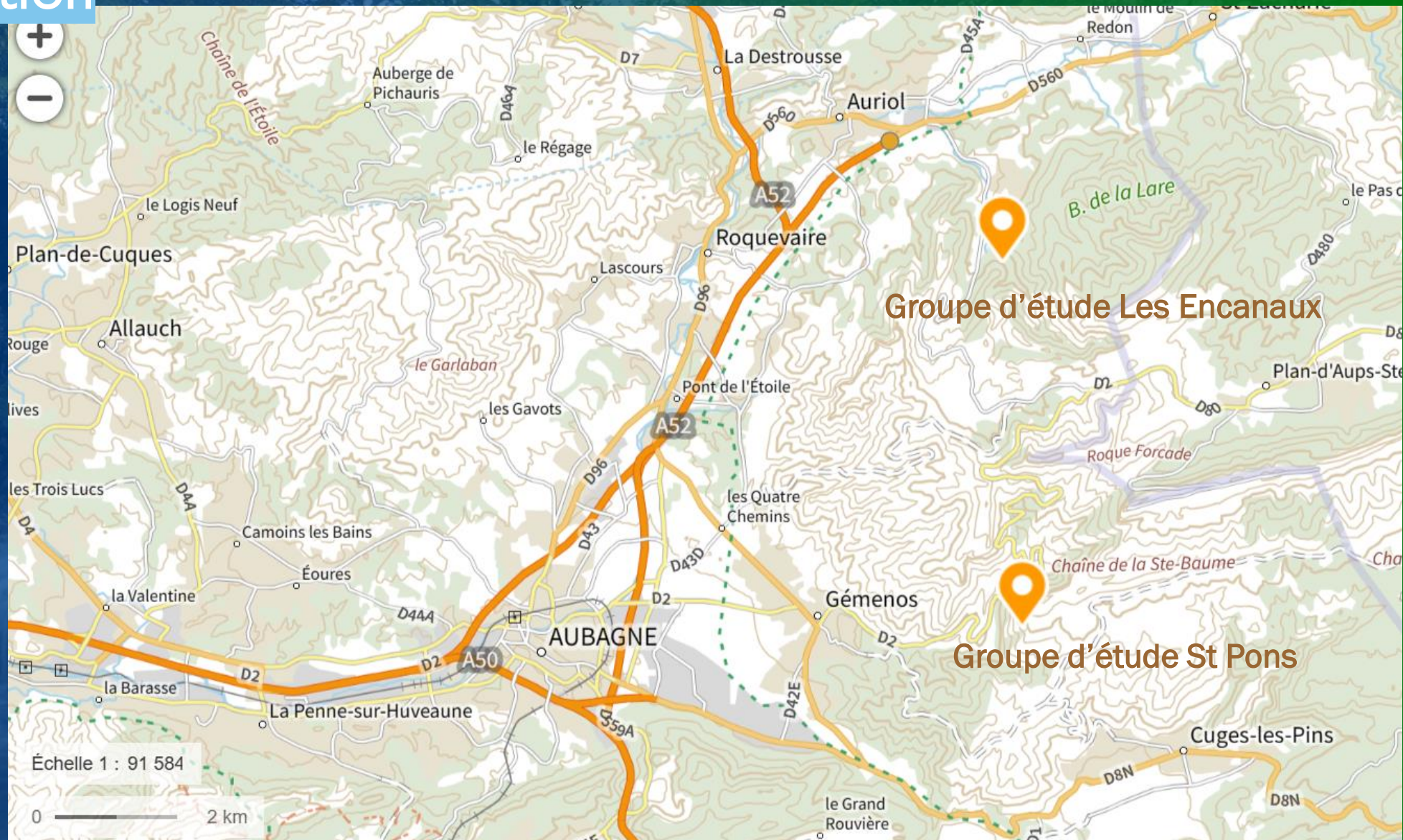
- LOCALISATION
- APPORT ET DEPOTS DE PLUIE, DEBIT...

Localisation

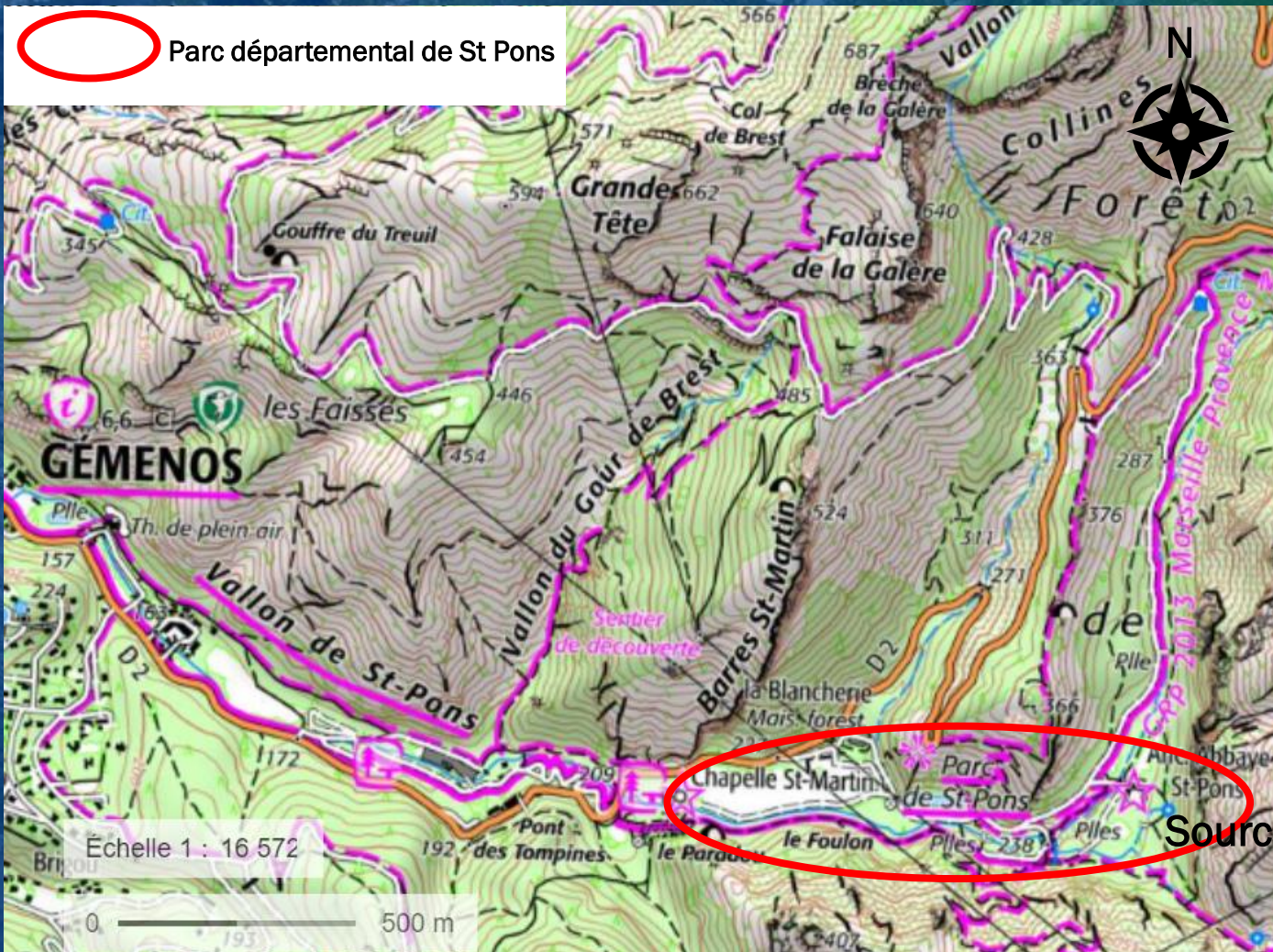


Localisation du Parc Départemental de Saint-Pons et de celui des Encanoux,
Geoportail.fr

Localisation



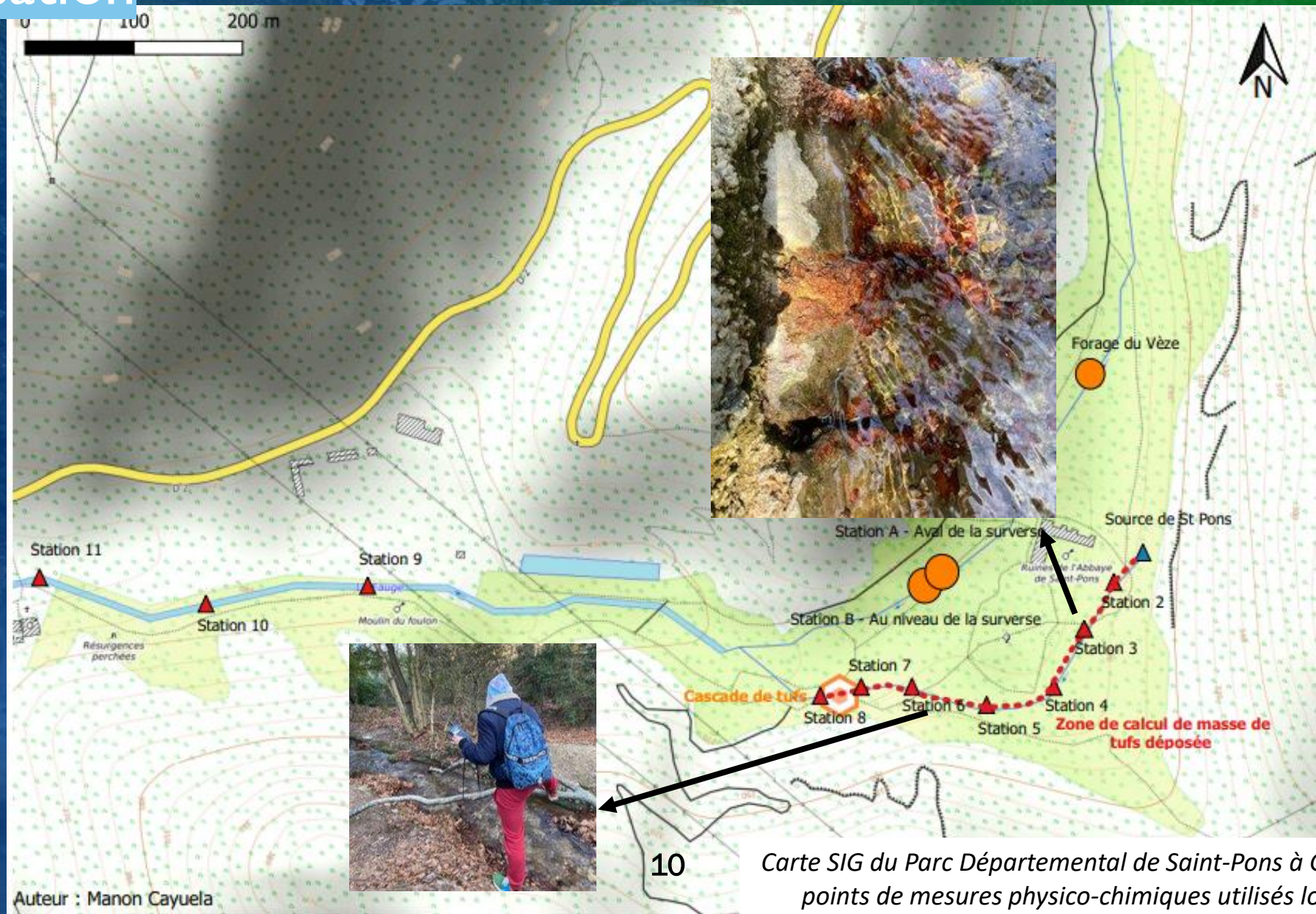
Localisation



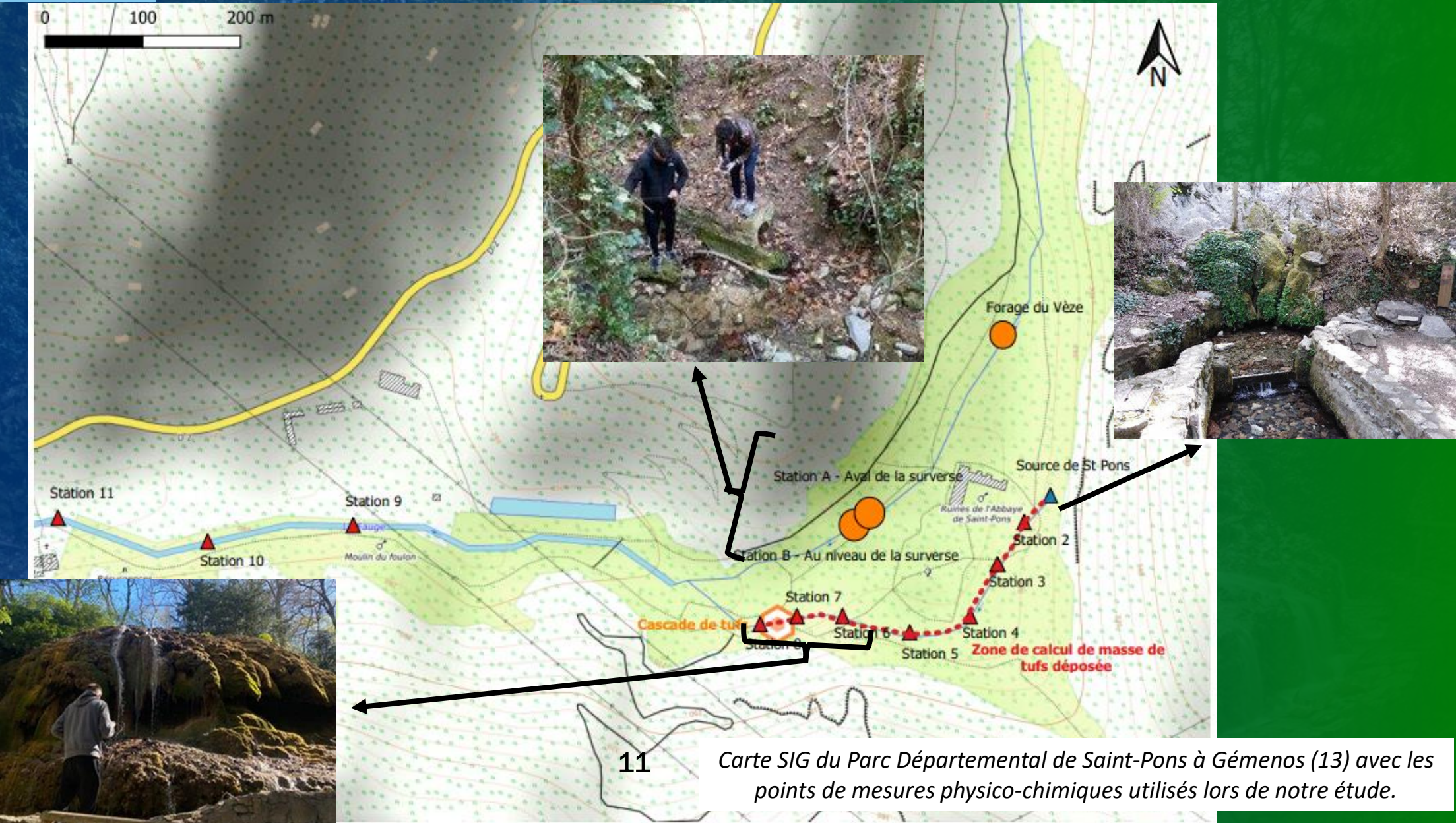
Localisation du Parc Départemental de Saint-Pons, Geoportail.fr

- Partie sud-est des Bouches du Rhône, à l'ouest du parc naturel régional de la Sainte-Baume
- Le Parc Départemental de Saint-Pons fait partie du massif de la sainte Baume
- Passage du Fauge, rivière qui draine le vallon
- Présence de la source de Saint-Pons, des cascades de tufs et un cours d'eau

Localisation



Localisation



Caractéristiques climatiques et hydrologiques

- Deux stations météorologiques proches de la source permettent d'obtenir des données de précipitations et d'évapotranspiration.
- La station du Plan d'Aups se situe au Nord-Est de la source et la station du Castellet se situe au Sud-Est de la source de Saint Pons.

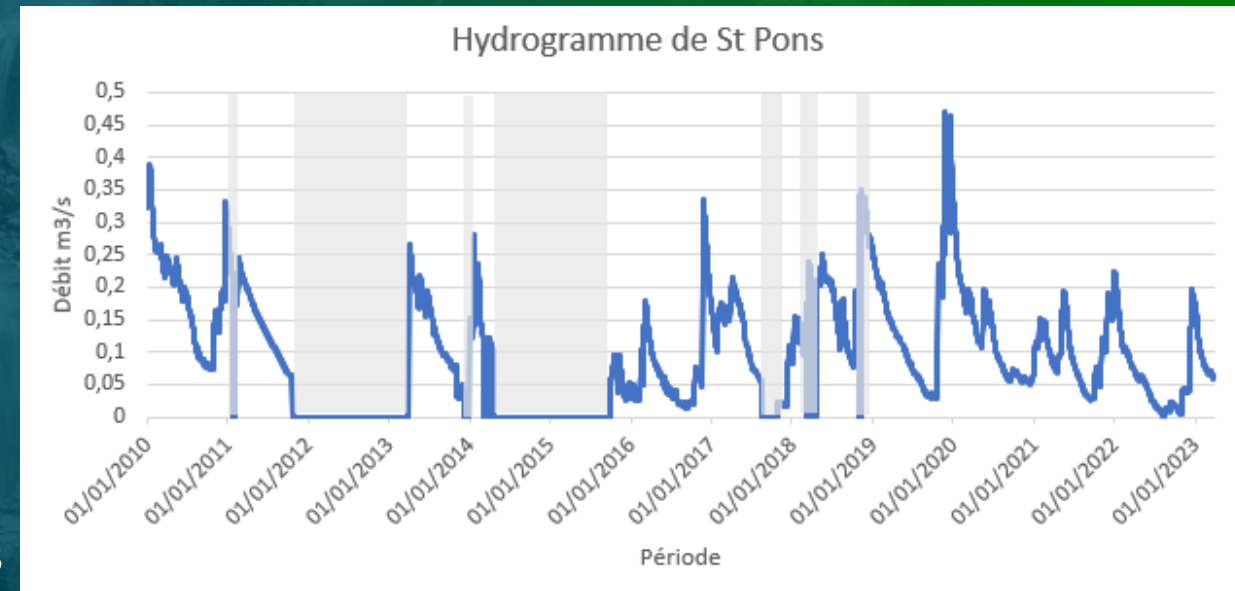


Apport de précipitation et débit de la source

- Débit moyen :
 - 0,03 et 0,1 m³/s en période estivale
 - 0,2 et 0,5 m³/s en période hivernale
- Source dite pérenne
- Climat de type méditerranéen montagnard
- Présence d'une station de mesure DREAL (Y442 5010 01 - Le torrent du Fauge à Gémenos = source Saint Pons)
- Les données disponibles s'étalent sur une période allant de 2010 à **février 2023** et sont issues des stations météorologiques du Plan d'Aups et du Castellet Aérodrôme.



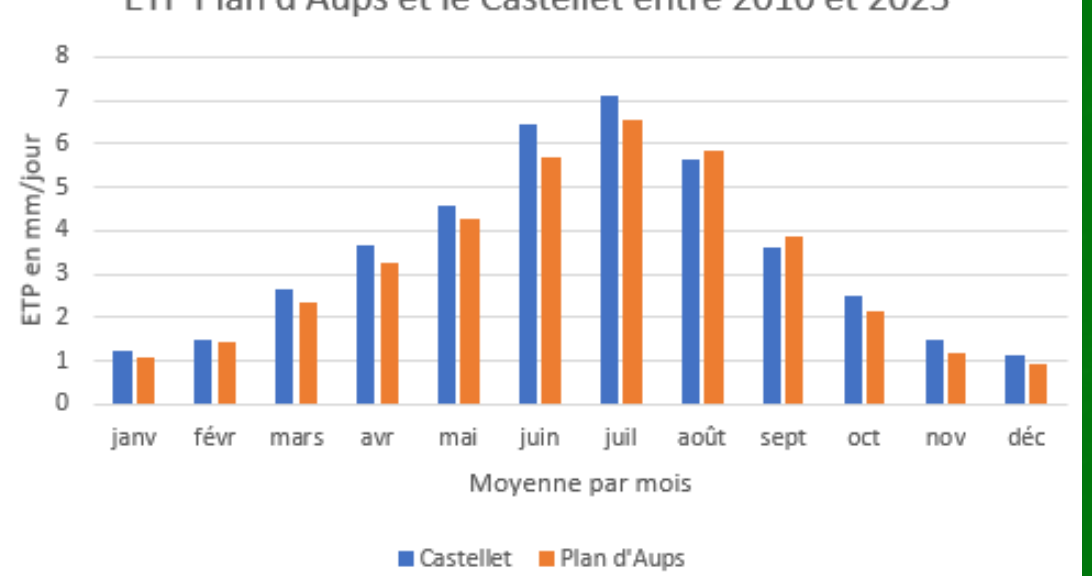
Photo de la source de St Pons et de l'échelle limnimétrique associée



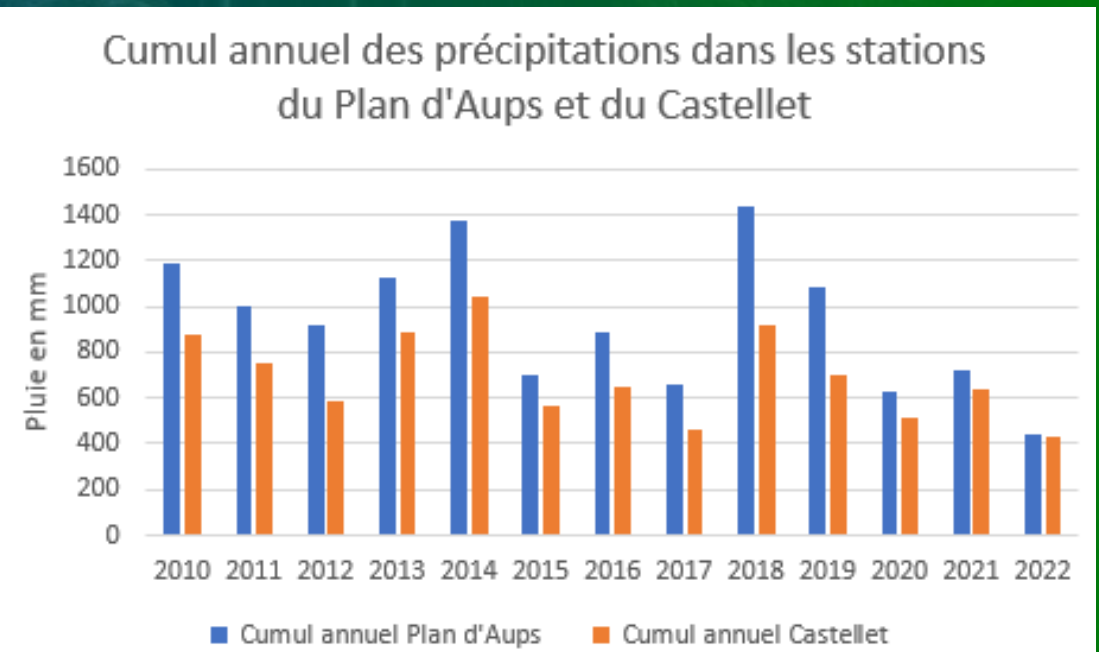
Hydrogramme de St Pons

Évapotranspiration et précipitations

- L'ETP est minimale en période hivernale et elle atteint son maximum en période estivale.
- La station du Castellet permettrait une évapotranspiration plus importante que la station du Plan d'Aups.
- Les années 2014 et 2018 ont été les plus pluvieuses tandis que les années 2017 et 2022 se distinguent comme étant très peu pluvieuses (données fournies par Météo-France).



Évapotranspiration du Castellet et de Plan d'Aups entre 2010 et 2023



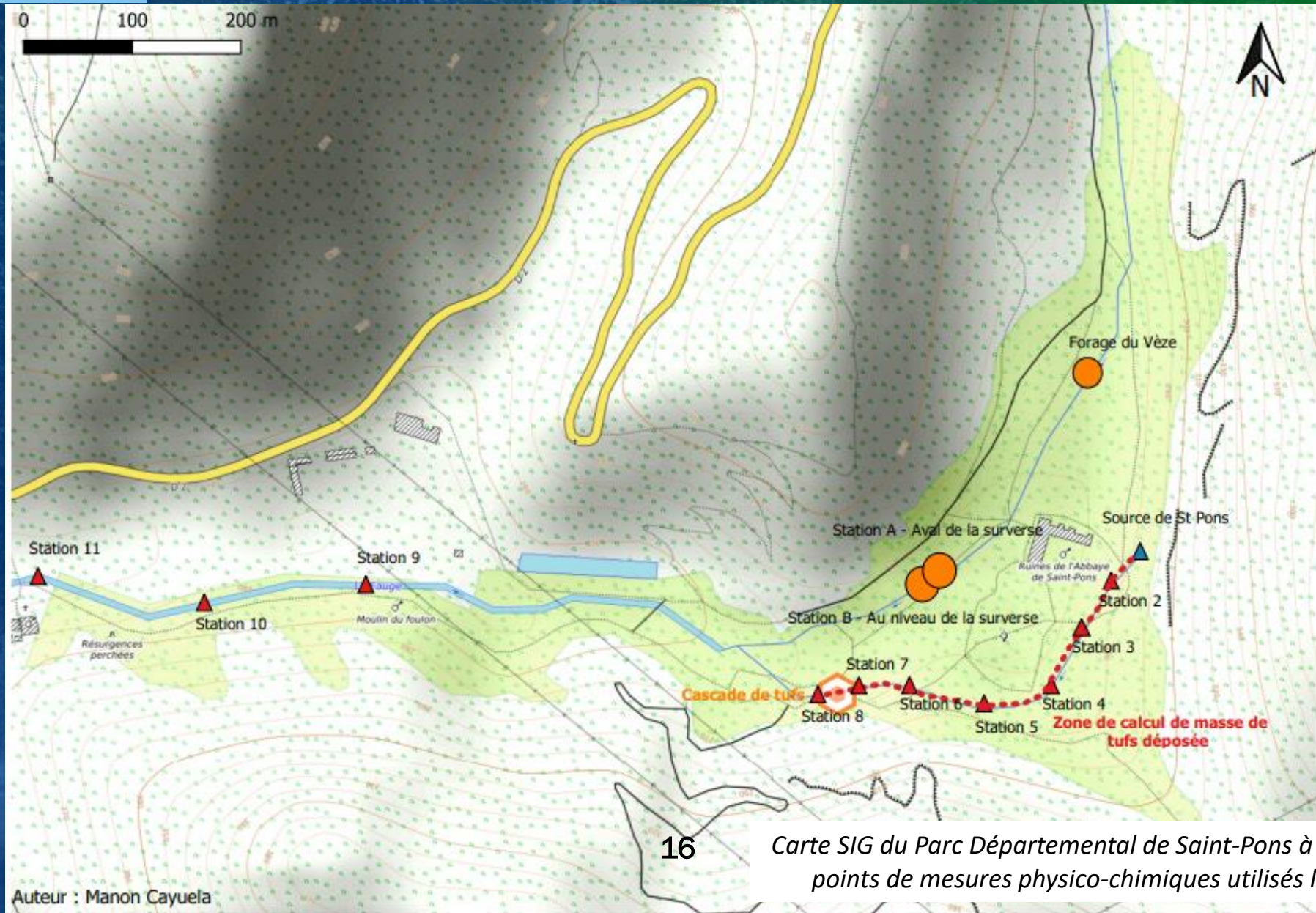
Cumul annuel des précipitations dans les stations du Plan d'Aups et du Castellet

III/ LES TUFs CALCAIRES DU VALLON DE SAINT PONS

OBJECTIFS DE CETTE PARTIE :

- Étudier la physico-chimie de l'eau de la source
- Mettre en lien nos données acquises sur le terrain avec la formation de tufs calcaires et les données déjà existantes
 - Expliquer la formation de tufs calcaires
 - Calcul théorique de masse de tufs déposée

Localisation



16

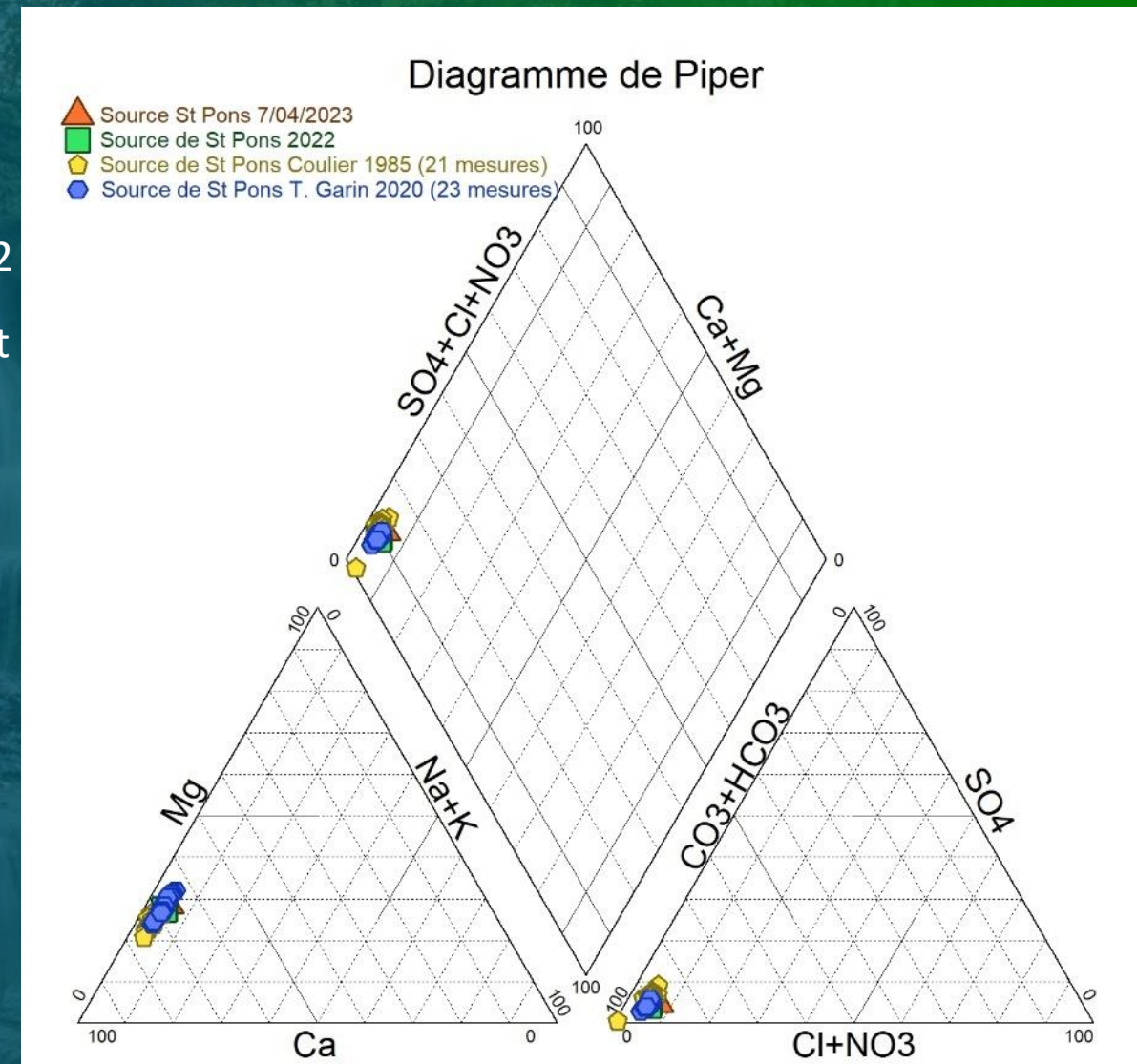
Carte SIG du Parc Départemental de Saint-Pons à Gémenos (13) avec les points de mesures physico-chimiques utilisés lors de notre étude.

Caractérisation physico-chimique de la source

- C. Coulier (1985) montre une grande stabilité de la source de Saint Pons
- Constat renforcé par T. Garin et sa thèse en décembre 2022
- L'eau de la source de St Pons est chargée en ions calcium et en ions hydrogénocarbonate, son faciès chimique est donc **bicarbonaté calcique**.
- Peu de variations entre les valeurs de Ca^{2+} et Mg^{2+} depuis 1985.

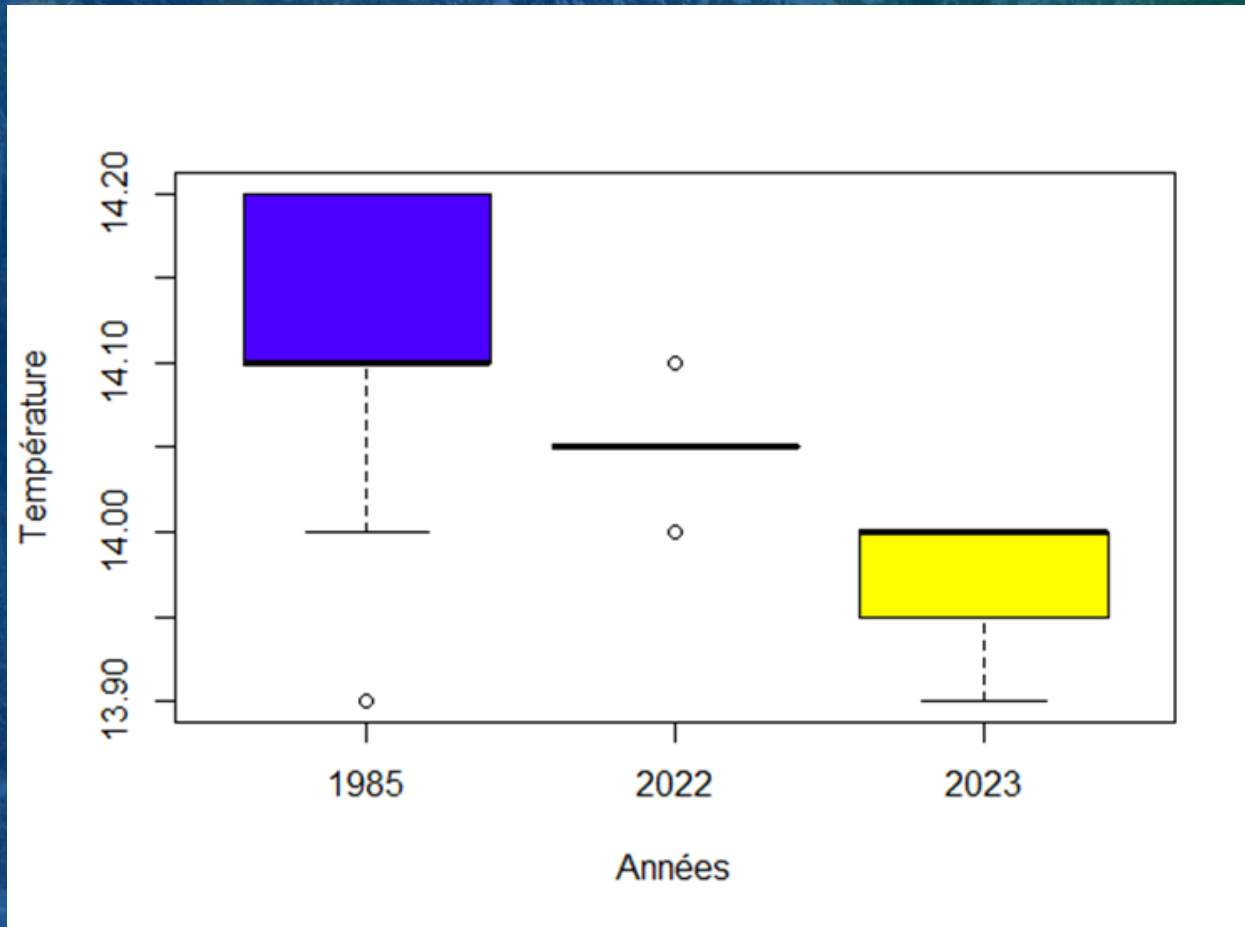
Nom	Coulier (1981-1983)	T. Garin (2018-2021)	2022	2023
Ca (mg/L)	73,7	76,9	71,3	69
Mg (mg/L)	15,1	19,4	17,3	17,9

Tableau de comparaison des ions calcium et magnésium avec nos données, les données de 2022, les données de T. Garin et celles de Coulier



Diagrammes de Piper montrant le faciès de la source de St Pons

Données acquises sur le terrain

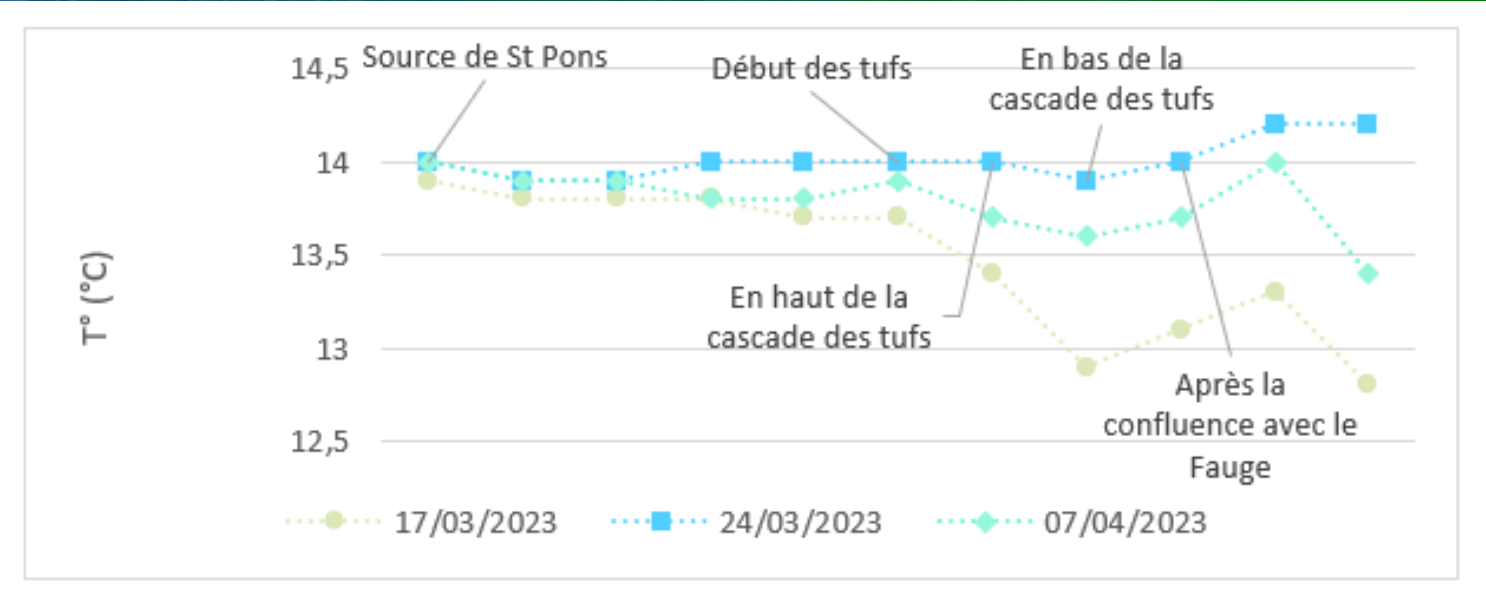


Les très faibles différences de température sont dans l'incertitude de mesure (instruments différents, point de mesure pas nécessairement exactement au même endroit, saisons de mesure non différenciées)

Température en plusieurs boxplot de la source de St Pons avec les données de Coulier en 1985, de T. Garin en 2021-2022 et nos données en 2023.

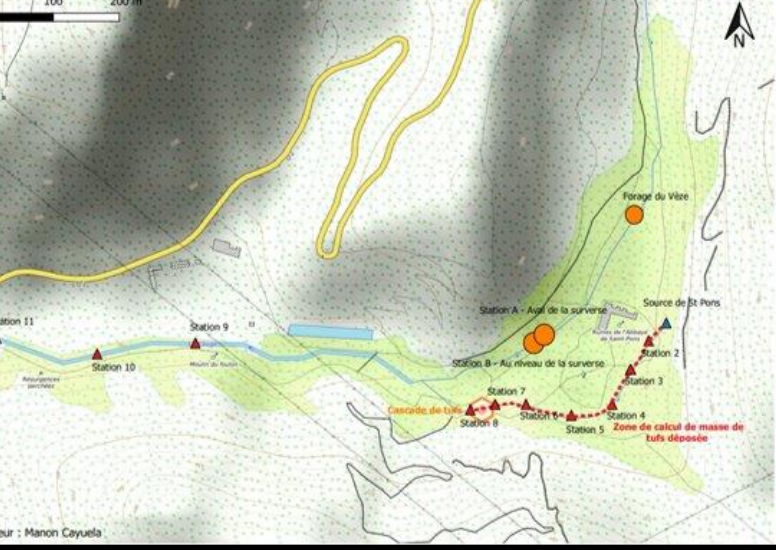
Données acquises sur le terrain

Lors de 3 campagnes de mesures, la variation de température de l'eau dans le cours d'eau évolue en fonction de la température de l'air sur la période (vague de chaleur le 24/03/23)

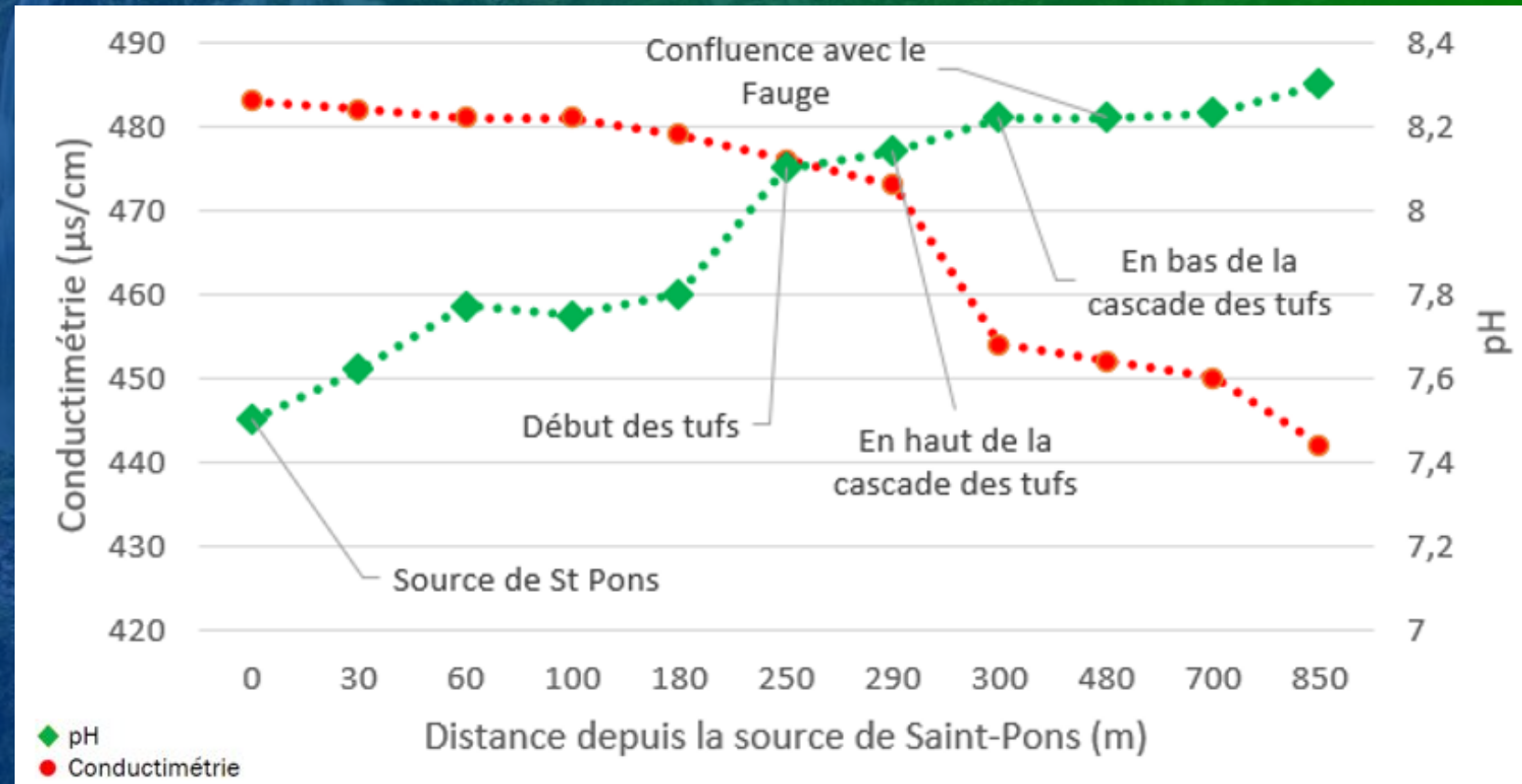


Température en fonction de la distance à la source de St Pons à différentes dates.

Formation de tufs calcaires



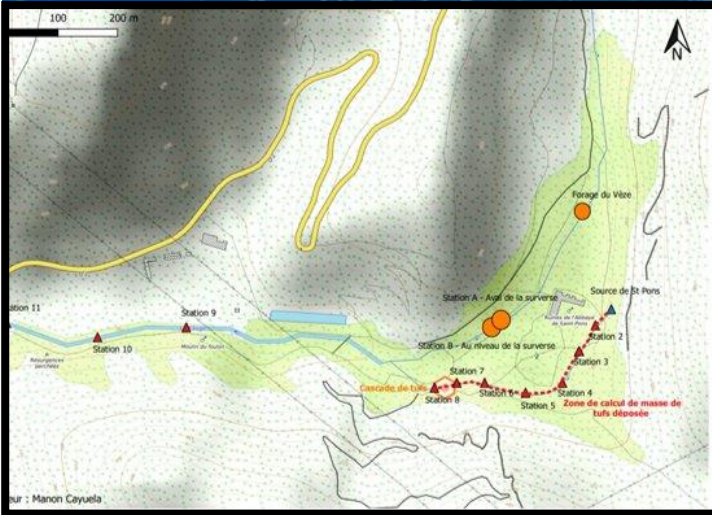
- De la source jusqu'en haut de la cascade de tufs calcaires, le pH augmente
- Entre le haut et le bas de la cascade de tufs calcaires la conductivité électrique diminue drastiquement
- La diminution de conductivité électrique après la confluence avec le Fauge est due à la formation de tufs calcaire.
- Le pH augmente par dégazage du CO_2 entre la source est l'aval.



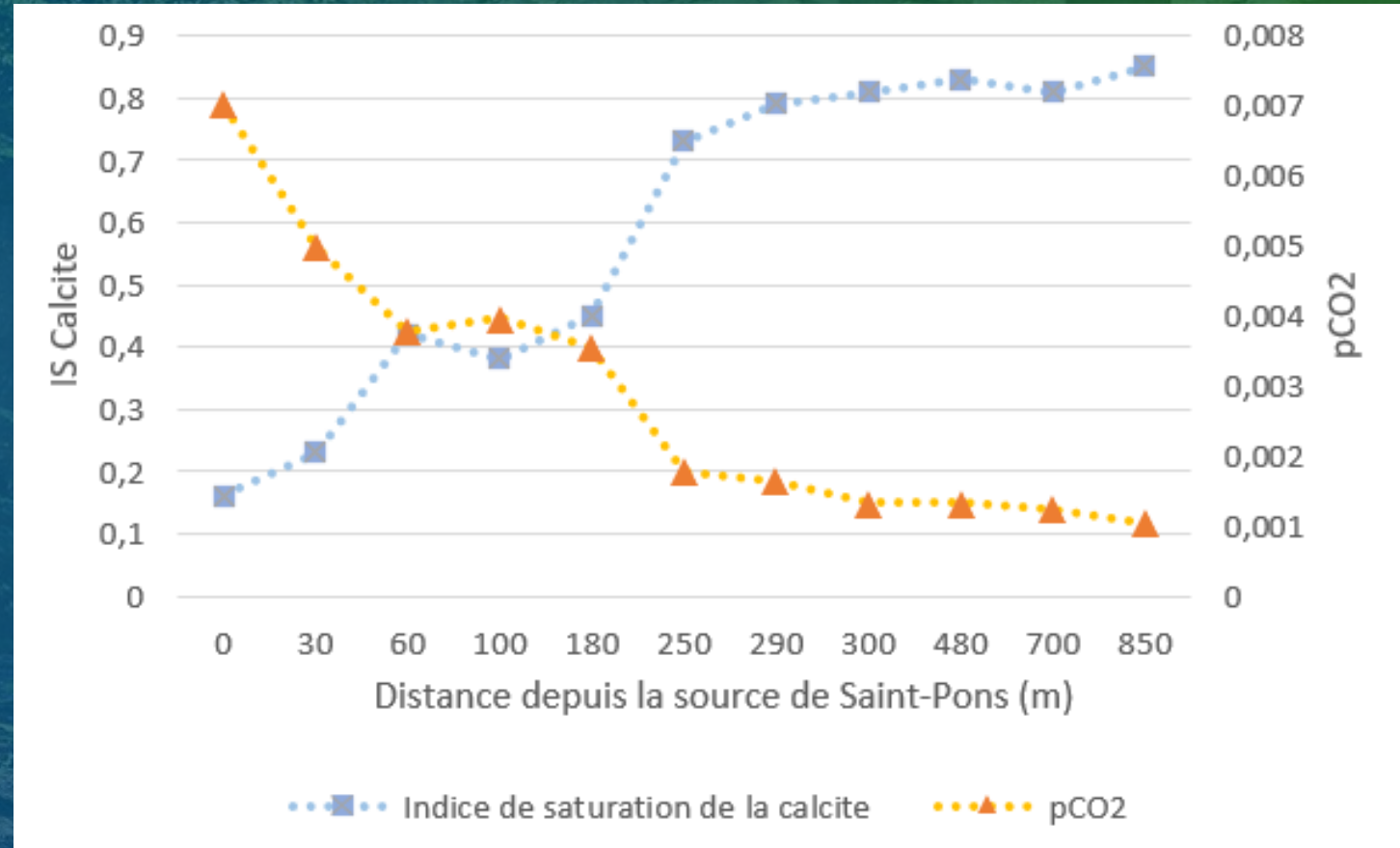
Valeurs de conductivité électrique (données brutes), pH mesurés à nos différentes stations de mesure le 07/04/2023.

Remarque sur l'exploitation des données : Le conductimètre de terrain présente un biais de mesure. La conductivité électrique mesurée est plus basse que la vraie valeur. Seules les variations relatives sont validées

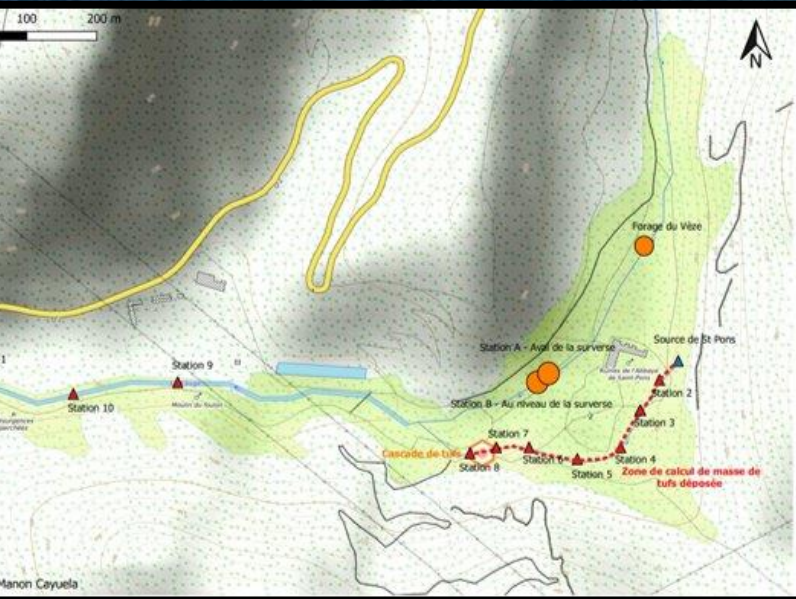
Formation de tufs calcaires



- Calcul de la pression partielle du CO_2 et des indices de saturation de la calcite avec **DIAGRAMMES**
- IS calcite varie entre 0,4 et 0,8 entre les stations de mesures situées à 100m et à 250m de la source tandis que $p\text{CO}_2$ diminue fortement
- $\text{IS} > 0,8$, précipitation



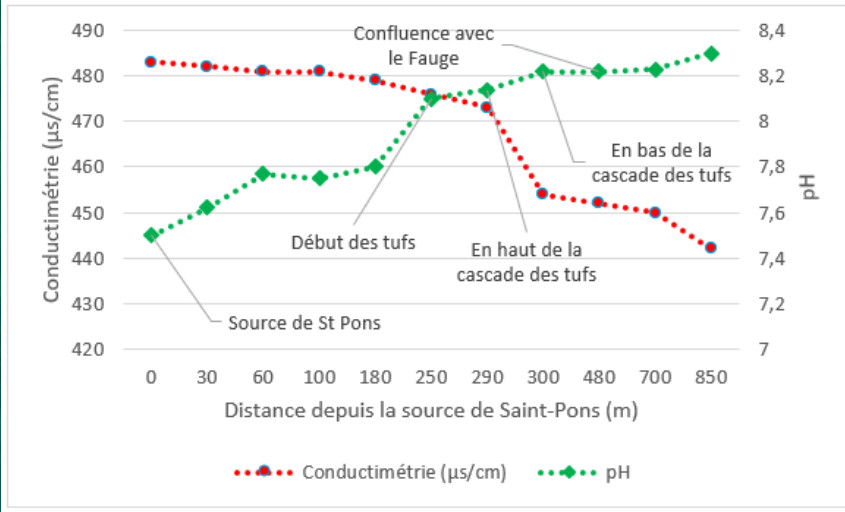
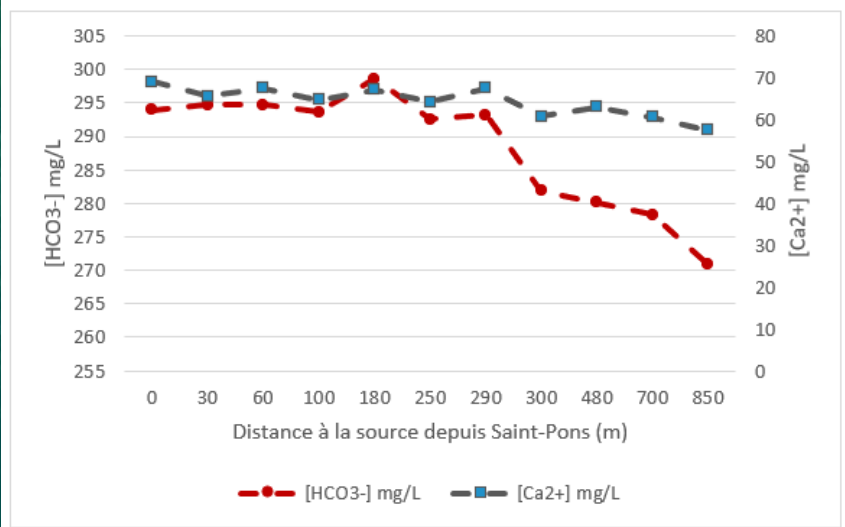
Courbes de pH et de l'Indice de saturation de la calcite mesurées à nos différentes stations de mesure le 07/04/2023.



Formation de tufs calcaires

- Les valeurs sont assez stables jusqu'à 290 mètres puis diminution à 300 mètres de la source jusqu'à la fin
- Graphique en corrélation avec l'observation de la diminution de conductivité électrique

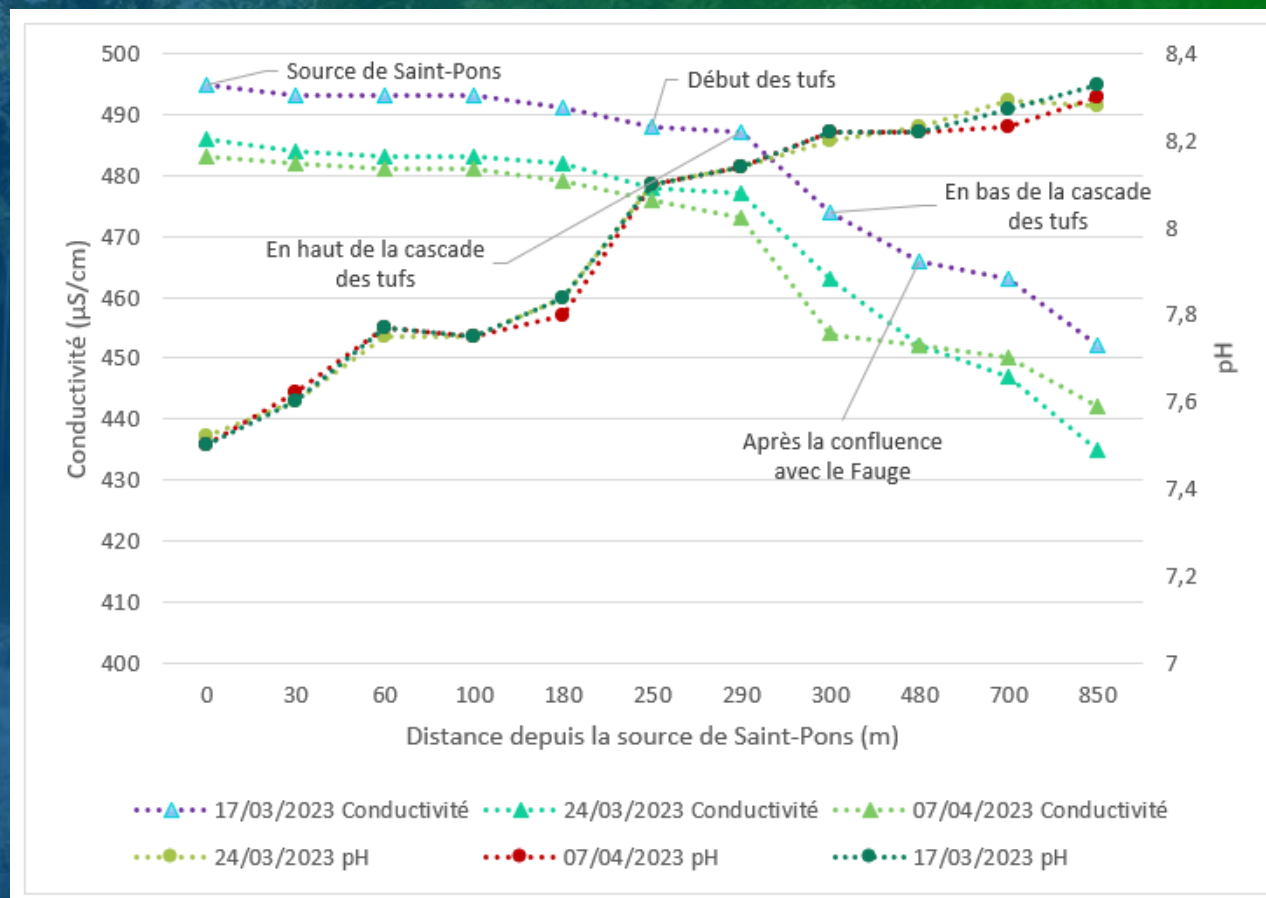
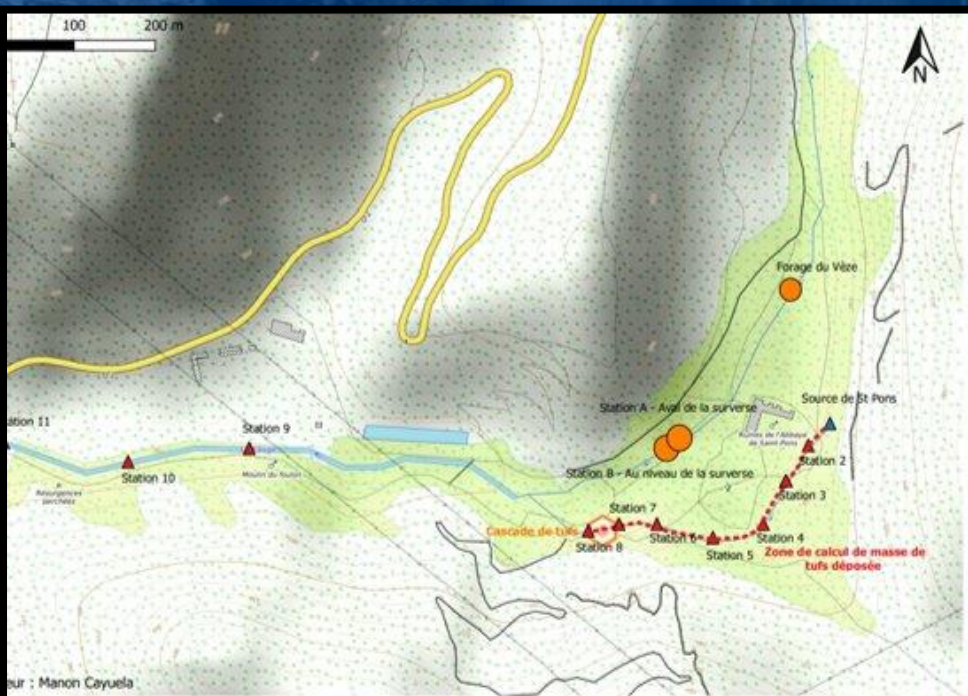
La précipitation des CaCO_3 et donc la formation des tufs calcaires est bien avérée



Graphique mettant en évidence les concentrations (en mg/L) en ions hydrogencarbonate et calcium en fonction de la distance à la source et de la conductivité (données brutes, décalage de mesure par mauvais étalonnage du conductimètre de terrain) et du pH

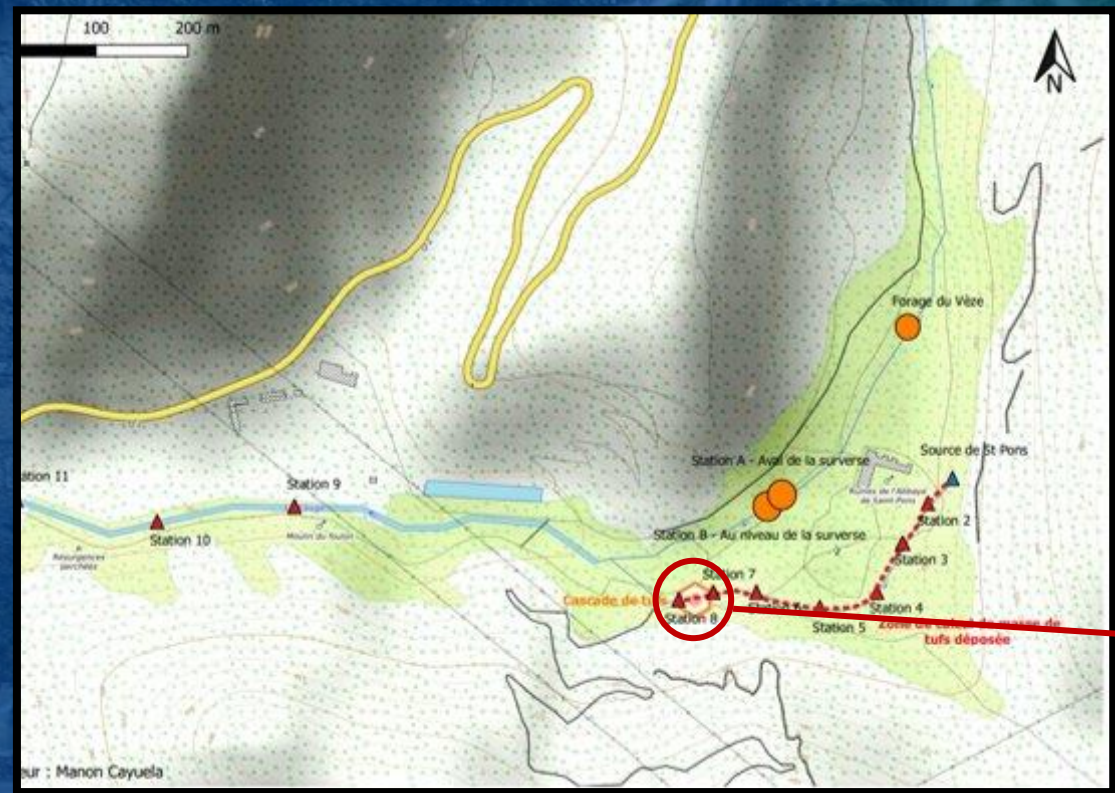
Données acquises sur le terrain

- Le pH et la conductivité électrique ont une grande stabilité
- Les mêmes constatations se font sur nos trois campagnes



Graphique présentant les mesures brutes de conductivité électrique (biais dans la mesure de terrain le 24/03/23 et 07/04/23) et de pH lors de nos 4 campagnes de terrain.

Calcul de masse théorique déposée



Test du calcul de masse théorique déposée

	Ca^{2+}	+	$2HCO_3^-$	\Rightarrow	$CaCO_3$	+	H_2O	+	CO_2
État Initial	n_1		n_2		0		0		0
État Final	$n1 - xmax$		$n2 - 2xmax$		$xmax$				

État d'avancement de la réaction de précipitation de la calcite.

• Dépôt entre les stations 7 et 8 :
Les ions calcium sont limitants dans cette réaction
Dépôt de 0,023 m³ pour la journée du 7 Avril 2023.

• Dépôt entre les stations 6 et 8 :
Dépôt de 0,034 m³ pour la journée du 7 avril

Critiques et perspectives

- ➔ Ce type de calcul est très sensible à la qualité des données de chimie des ions majeurs. Pour valider les calculs, il est indispensable de dupliquer les analyses.
- ➔ Le volume déposé dépend également de la masse volumique utilisée. Il est indispensable de proposer plusieurs scénarios en fonction de la porosité du dépôt.
- ➔ La masse et le volume déposés sont variables au cours du temps. Il est indispensable de faire des mesures à différents débits, différentes températures ambiantes, et donc différentes saisons



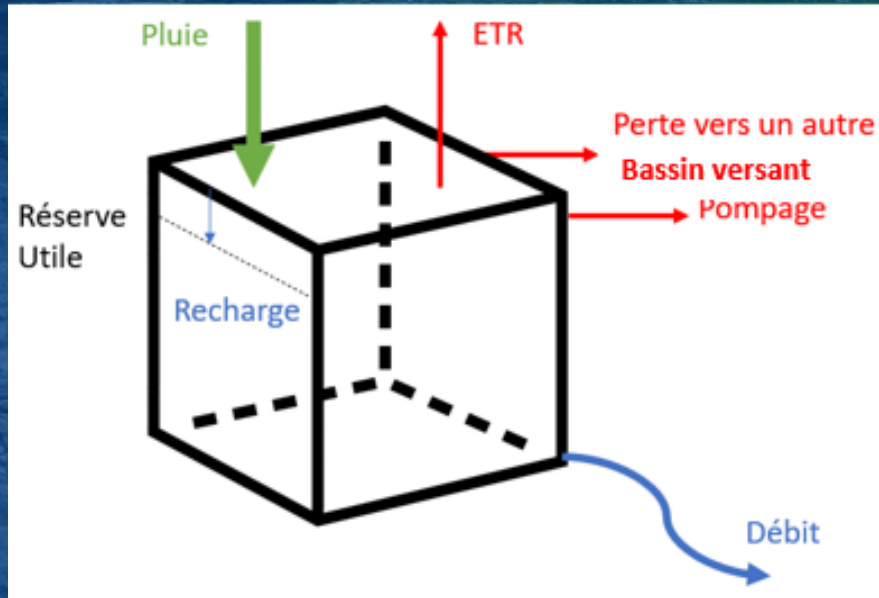
III/ MODELISATION P-Q (Karst mod)

- 1) Relation pluie-débit
- 2) Données d'entrée
- 3) Modélisations hydrosystème
- 4) Changement climatique
- 5) Simulations futures
 - A) Historique
 - B) Future

OBJECTIFS :

- Création d'un modèle numérique afin de simuler le débit actuel
- Utilisation du modèle obtenu pour insérer les pluies et ETP futures afin d'obtenir un débit simulé futur

RELATION PLUIE DÉBIT



La relation pluie débit repose sur le lien qui régit les apports et les exports d'eau au sein du bassin versant d'étude

Un paramètre essentiel

Loi de Maillet = décrit la vidange d'un réservoir à travers un orifice.

Les précipitations sont la source d'eau de l'aquifère. Seule la partie non évaporée et non perdue est ensuite libérée sous forme de débit à un exutoire

Loi de Maillet : $Q_t = Q_0 \times e^{-k \times t}$

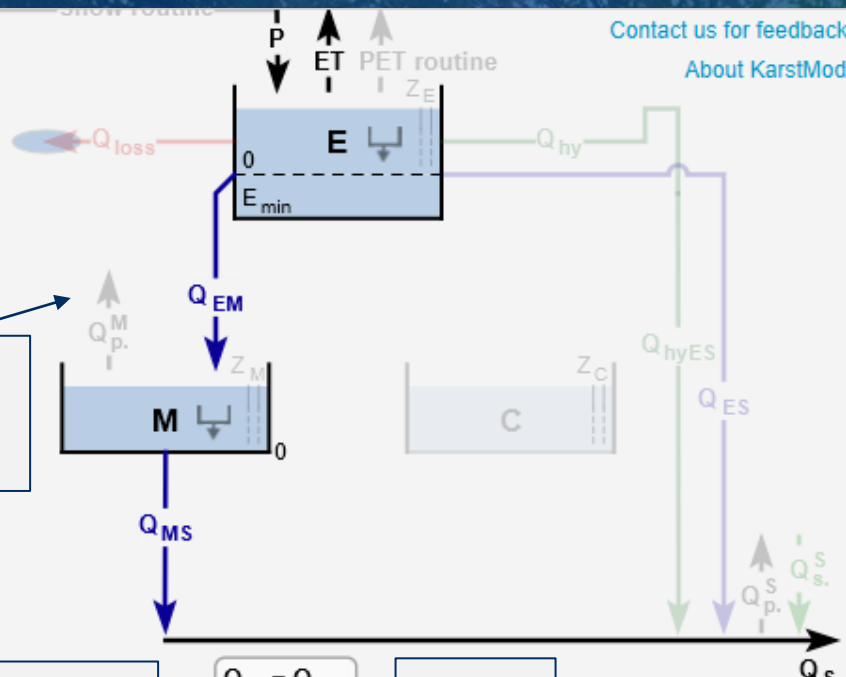
- Q_0 est le débit initial de la période de tarissement

- Q_t le débit après un temps t

- k le coefficient de récession

Le WOBJ est un outil permettant d'évaluer la performance d'un modèle = KGE

+ performant si KGE se rapproche de 1.



Structure des reservoirs choisie

C:\Users\Carla Villalon\OneDrive - Aix-Marseille Université\Escritorio\FACVM2\Proj

IO shift: 0 Data time step: day

Model parameters

- Reservoir E (P, ET, Q_{EM})
 - Piezometer Z_E
 - Classical config Infinite Tc
 - E₀ mm
 - E_{min} mm
 - Q_{EM} k_{EM} mm/day
 - α_{EM}
- Reservoir M (Q_{MS})
 - Piezometer Z_M
 - Classical config Infinite Tc
 - M₀ mm
 - Without bottom
 - Q_{MS} k_{MS} mm/day
 - α_{MS}

R_A km²

Données d'entrée

Paramètres de l'hydrosystèmes

Initialisation

Calage

Validation

Fonction objectif

Graphique des résultats

Run parameters ⚠ Caution! Configuration has been modified. Results are not up-to-date.

Beginning of the warmup stage:

Calibration stage:

Validation stage:

obj: t max.: s

WOBJ = KGE(QS)

WOBJ_{min}: Param. to be calibrated:

Output dir:

Calibration results

Simulations satisfying WOBJ ≥ WOBJ_{min}: -

Calibration: -0.837

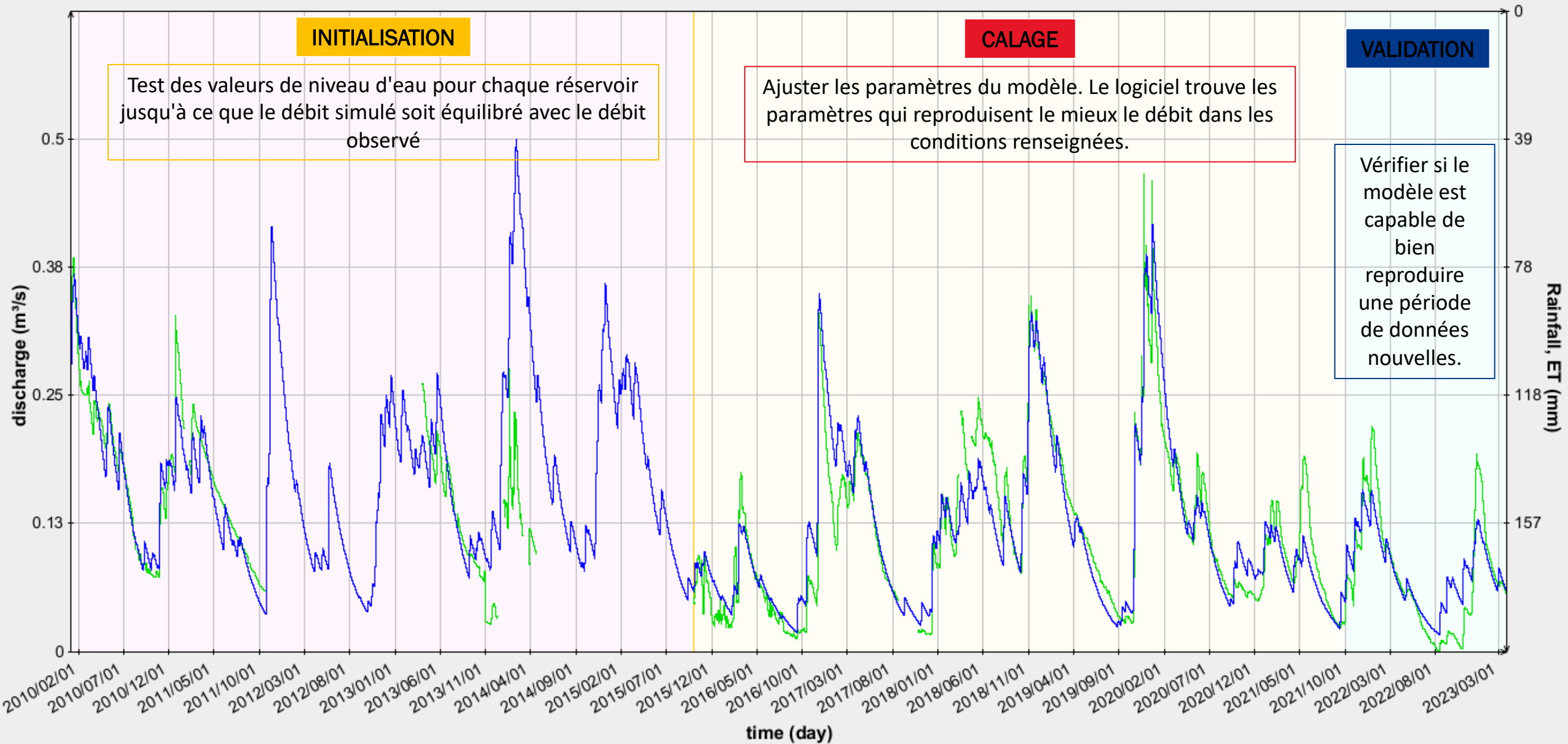
Validation: -0.616

Results and graphs

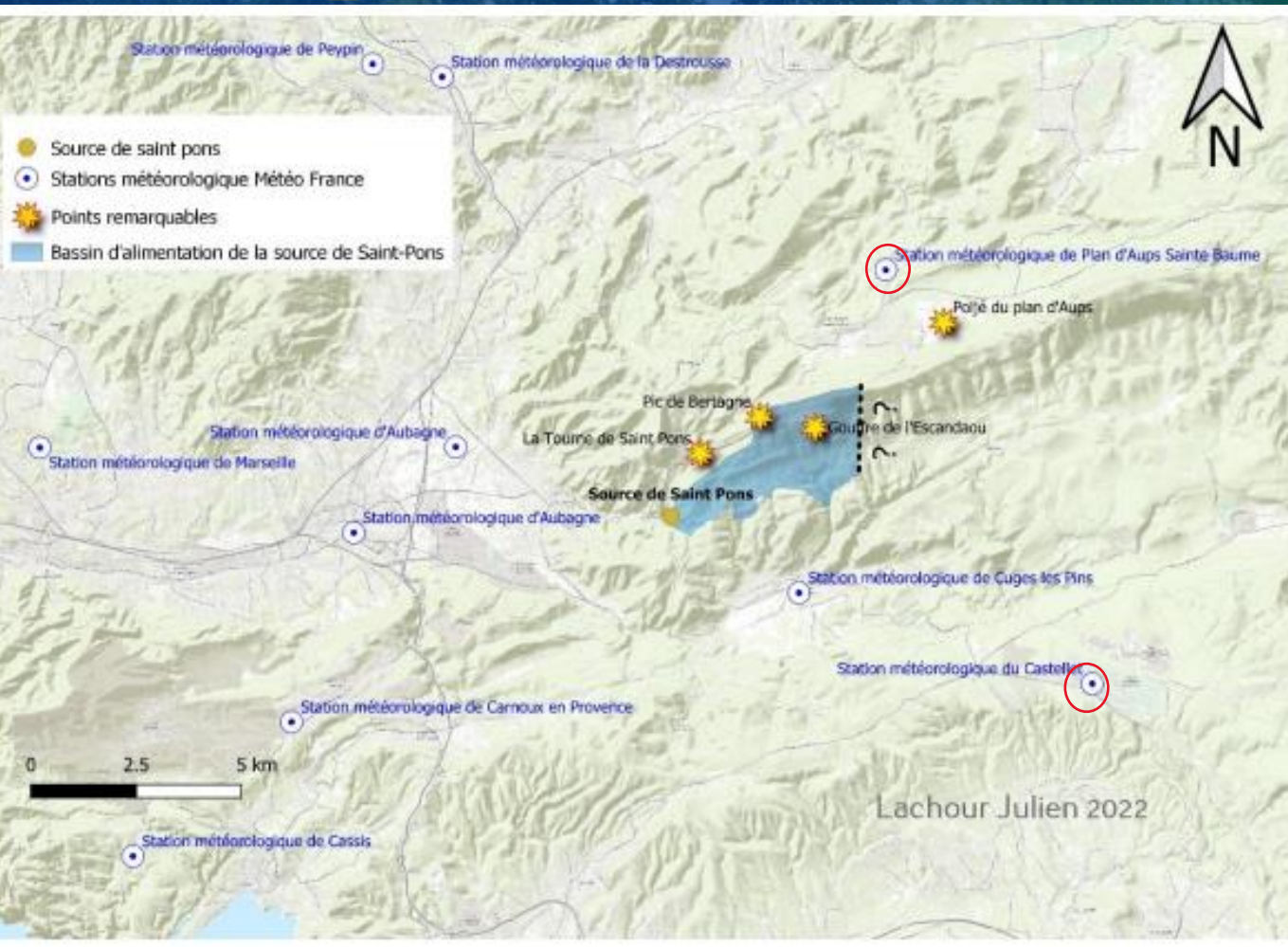
Optimal param. set T & ET P & disch. P & internal disch. P & water levels P & internal water levels Cumulative volumes Mass balance Q_S vs Q_{obs} Q_S - Q_{obs} Model evaluation

Graph showing discharge (m³/s) and Rainfall, ET (mm) from 2010/02/01 to 2023/03/01. The graph displays multiple data series: rainfall (blue vertical bars), ET (green line), and discharge (blue line). The discharge shows significant peaks corresponding to rainfall events but with a lag and lower magnitude than observed, indicating a poor model fit.

Attention, cette « capture d'écran » donne un résultat de simulation non satisfaisant. Les bons résultats sont présentés dans les diapositives suivantes



DONNÉES D'ENTRÉE

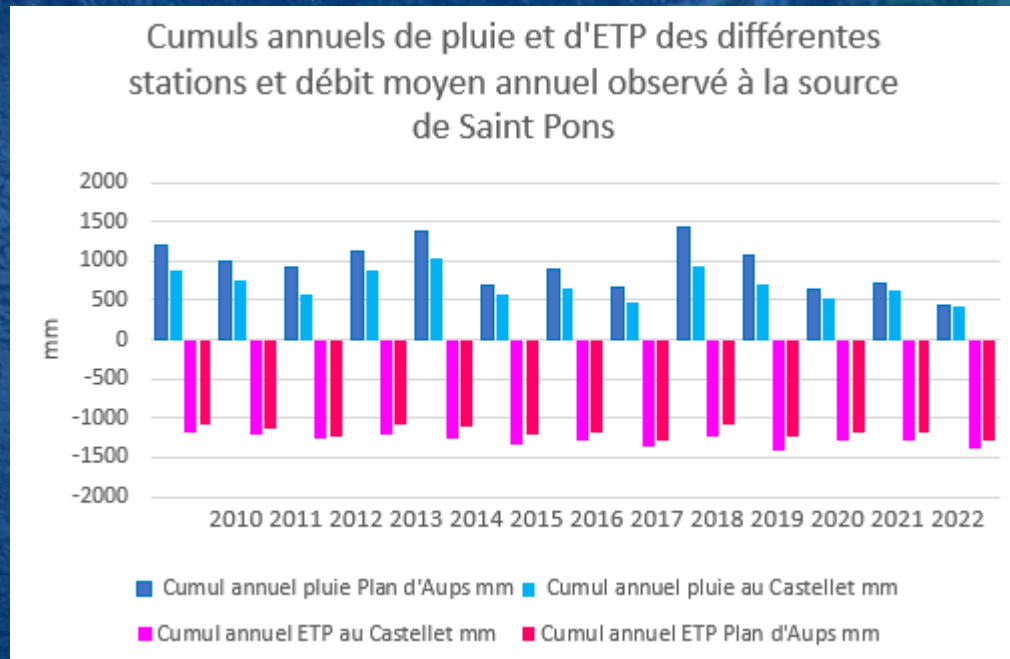


Choix des stations météorologiques du Castellet et du Plan d'Aups

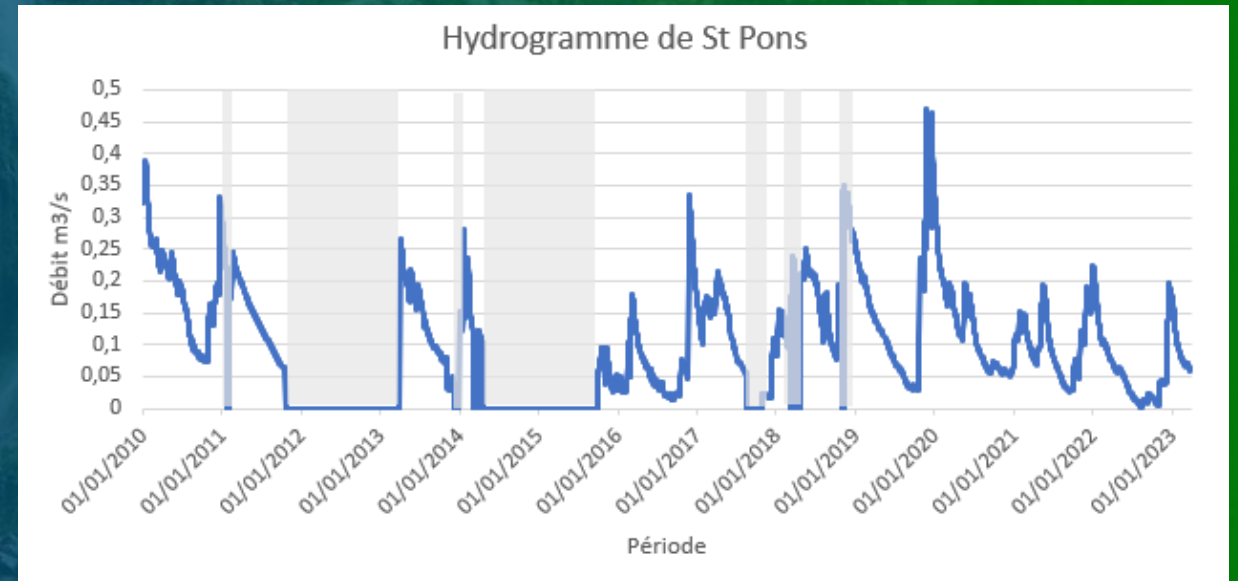


Récupération des données pour le bilan hydrologique et la modélisation

DONNÉES D'ENTRÉE



Pluie et ETP (Evapotranspiration)



Débit

Source : MétéoFrance

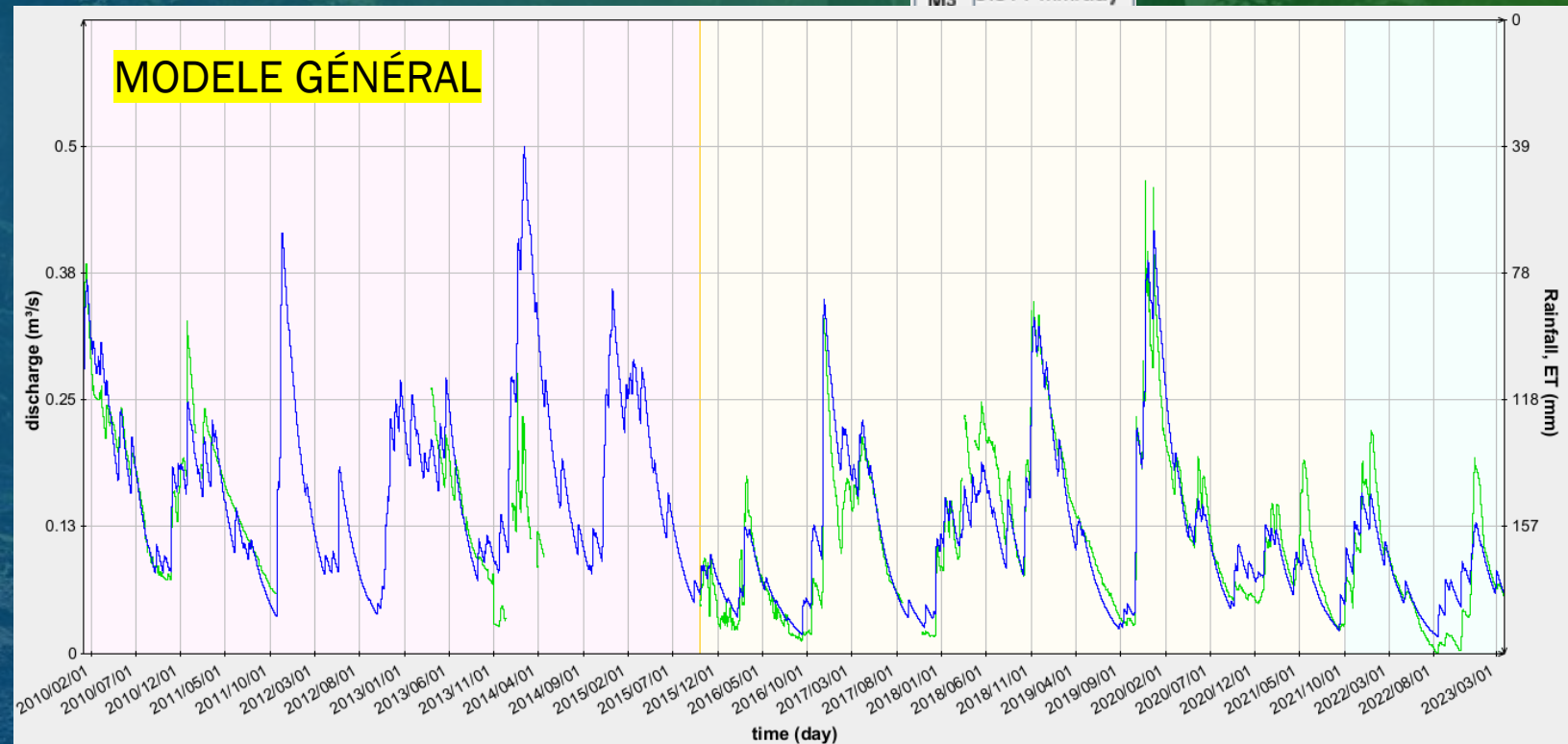
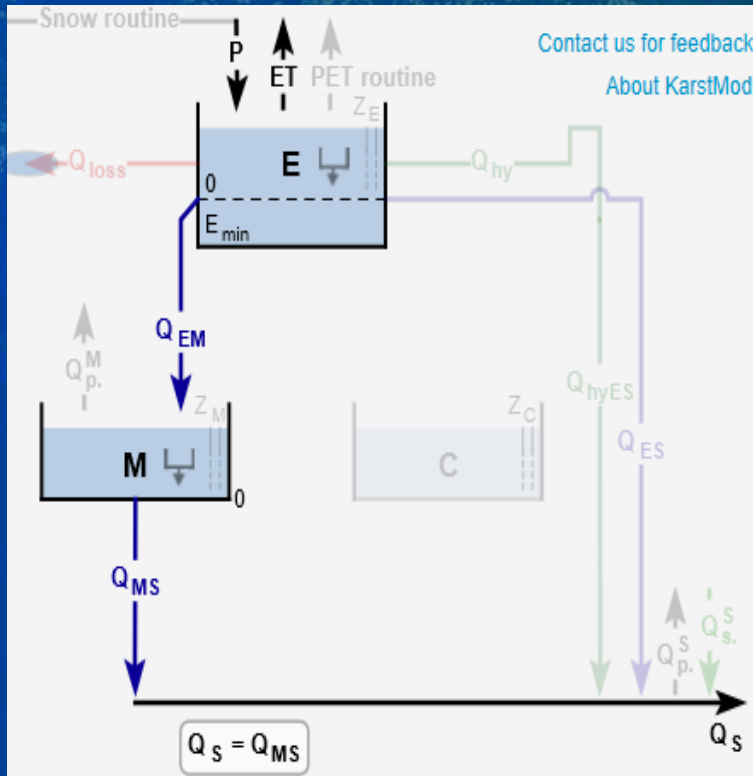
MODELISATIONS HYDROSYSTÈME



Structure et paramètres optimaux

WOBJ	Calibration	0.95
KGE(QS)	Calibration	0.95
WOBJ	Validation	0.56
KGE(QS)	Validation	0.56

R_A	8.439 km ²
E_0	43.652 mm
E_{min}	-4.939 mm
M_0	153.996 mm
k_{EM}	0.86 mm/day
k_{MS}	0.011 mm/day



Hydrosystème de St
Pons

Tufs calcaires

Modélisation Pluie-
débit

Changement
climatique

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique : étude et scénario choisi

- Le changement climatique à plusieurs échelles
- Les scénarios RCP



MONDIAL



REGIONAL



Le GIEC a été créé en 1988 par deux institutions des Nations unies :
• Organisation météorologique mondiale (OMM)
• Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE)

Le Groupe régional d'experts sur le climat en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-SUD), 2015:
• Région Provence-Alpes Côte d'Azur
• Ademe Paca

Les principales missions du GREC-PACA :

- Centraliser et partager la connaissance scientifique sur tous les aspects du changement climatique en région PACA
- Aider les acteurs locaux à orienter leurs actions et politiques publiques vers une transition écologique,

Elaboration de "Cahiers Thématiques"

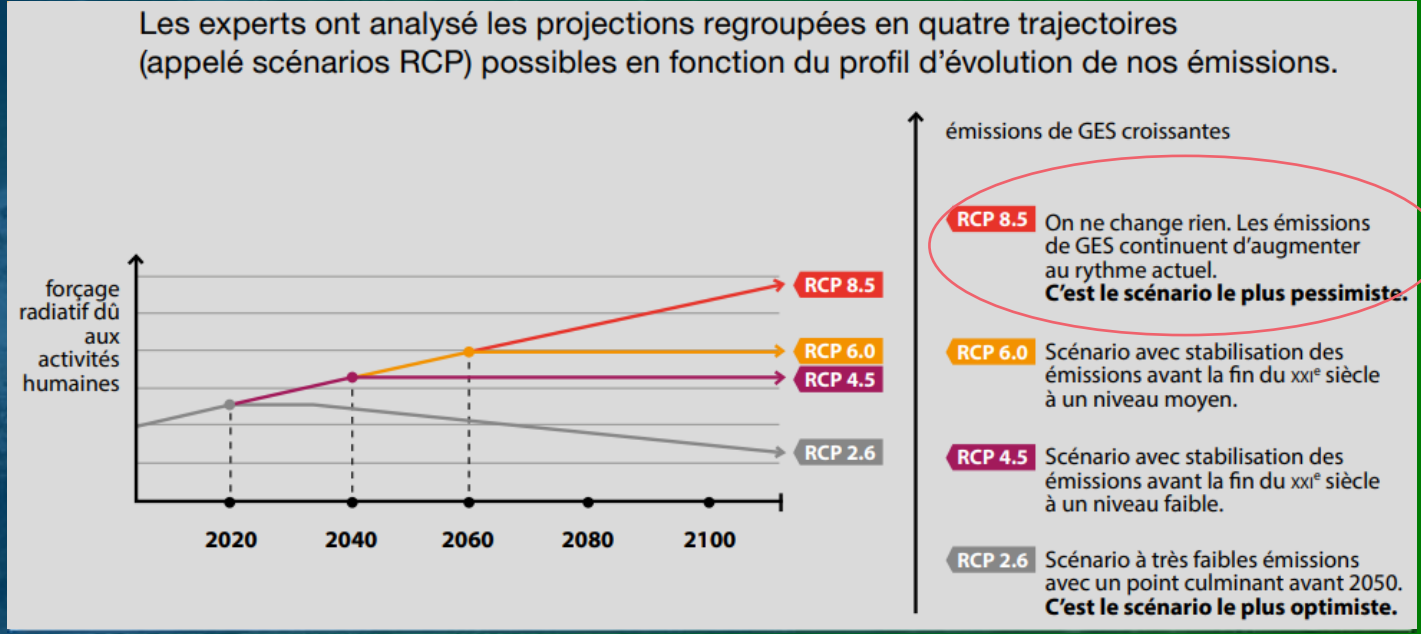
Cahier climat PACA



Cahier climat St Baume

Nous suivons actuellement la trajectoire du scénario

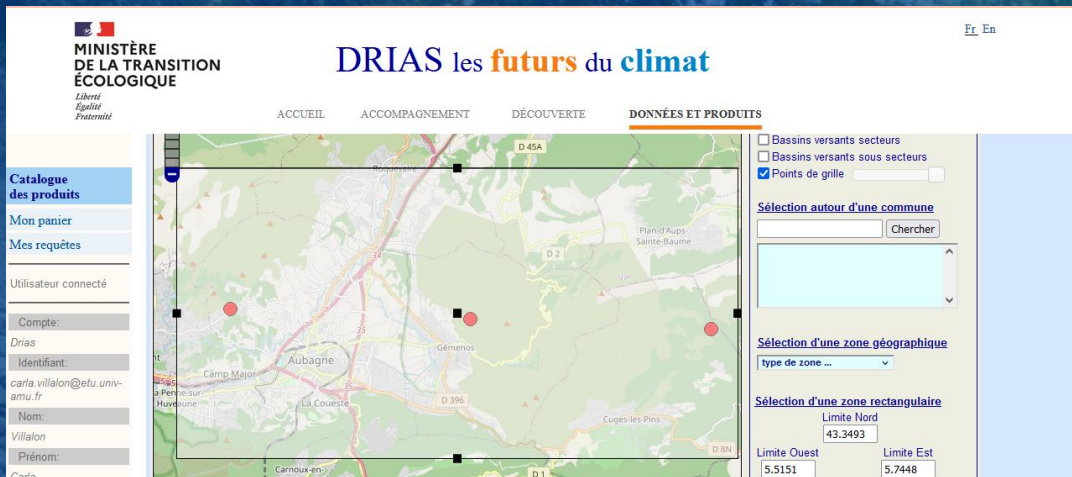
8.5



DONNÉES D'ENTRÉE



Le portail DRIAS délivre les sorties de modèles climatiques régionaux



3 points d'intérêt entourant le site de St Pons (maille de 8km)

Date	Latitude, Longitude : position du point de	Longitude	Temperature minimale journaliere a 2 m [C]	Temperature maximale journaliere a 2 m [C]	Temperature moyenne a 2 m [C]	Precipitations totales [mm]	Precipitations solides [mm]	Rayonnement visible incident a la surface	Rayonnement infra-rouge incident a la surface	Evapotranspiration potentielle Hargreaves
Production : eurocordex2020										
# Modele : CNRM-ALADIN63 - CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 (RCM - GCM)										
Scenario : rcp8,5 8,5										
01/01/2006	43.30770	5.53715	5.83	11.69	9.10	0.000	0.000	42.019	301.867	1.278
02/01/2006	43.30770	5.53715	7.38	12.69	9.43	0.000	0.000	71.438	308.588	0.583
03/01/2006	43.30770	5.53715	9.09	12.94	11.82	0.100	0.000	40.131	328.057	1.081
04/01/2006	43.30770	5.53715	8.88	19.40	13.20	0.000	0.000	75.807	314.007	1.679
05/01/2006	43.30770	5.53715	9.15	17.43	12.74	0.000	0.000	82.503	306.146	0.989
06/01/2006	43.30770	5.53715	8.26	17.77	12.23	0.000	0.000	70.244	311.114	1.112
07/01/2006	43.30770	5.53715	10.71	14.80	12.70	0.100	0.000	32.979	329.402	1.499
08/01/2006	43.30770	5.53715	8.89	13.03	10.39	0.000	0.000	33.027	318.244	0.802

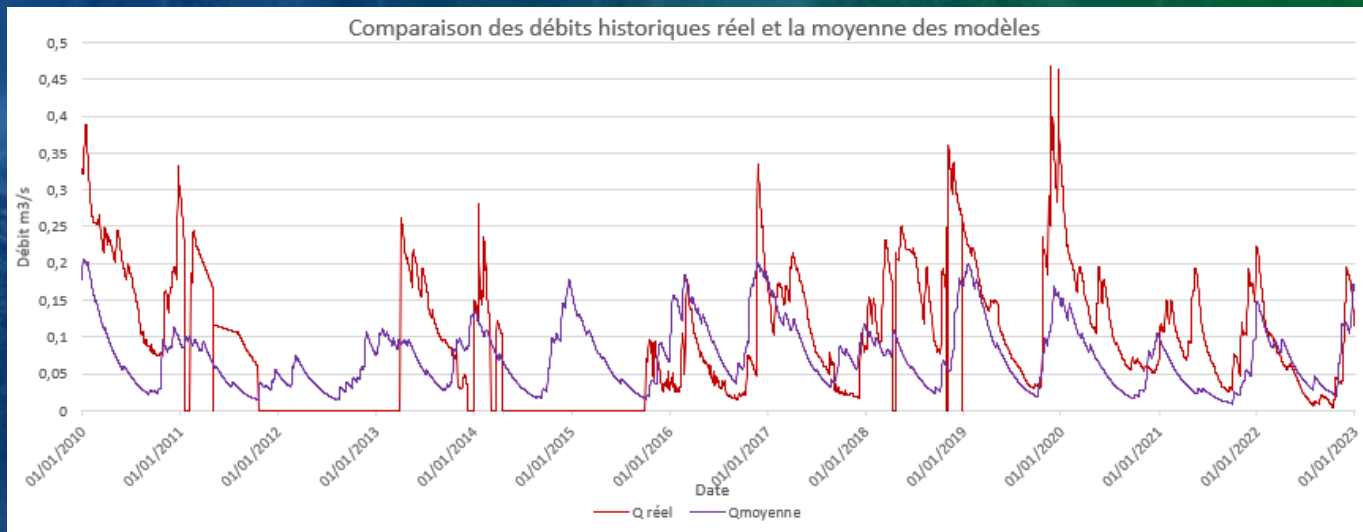
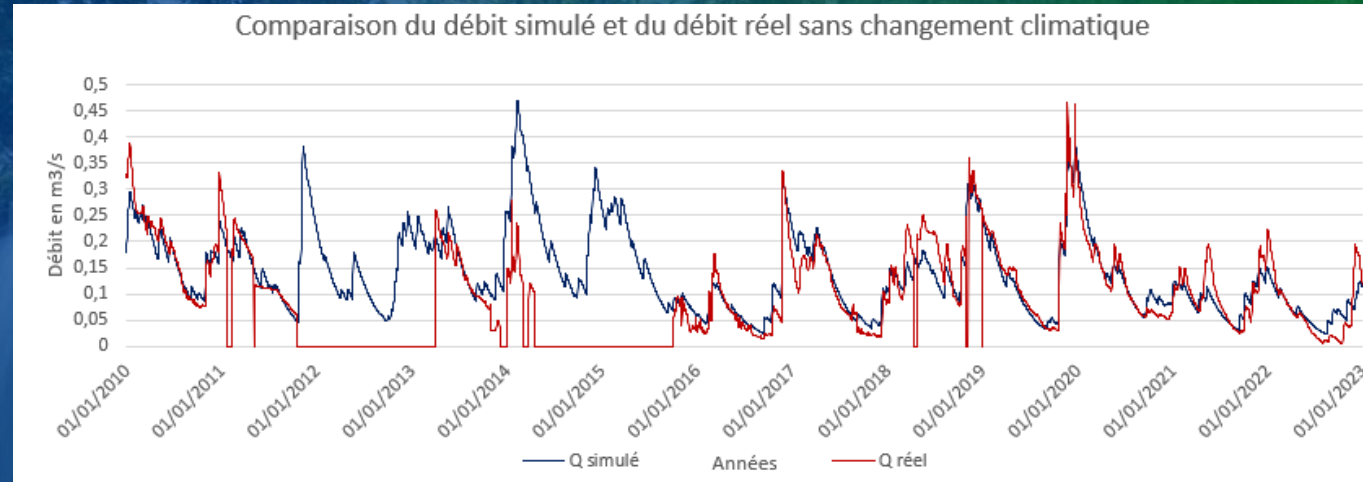
Exemple:
Scénario RCP 8,5
MODELE ALADIN
(moyenne entre les 3 points)

LES LIMITES DE LA MODÉLISATION



Période historique

Débit simulé
avec Karst Mod
SANS CC
(données
MétéoFrance)



Sous-estimation des crues
Suivi des basses eaux
moyennement correct

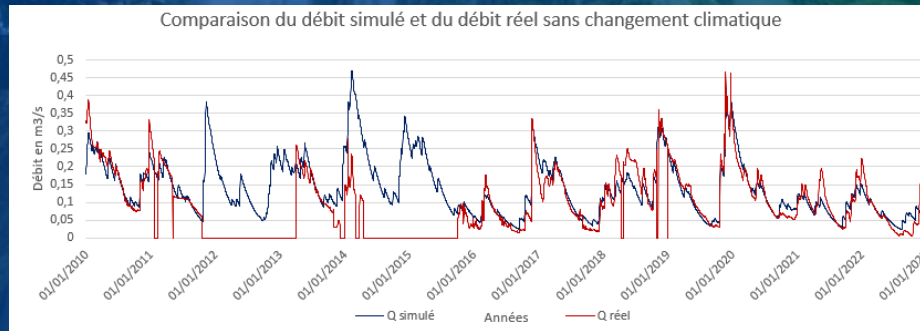
Débit simulé avec
Karst Mod
Avec la Moyenne des 3
modèles de Pluie et
ETP, scénario RCP 8.5
(AVEC CC)
(données **DRIAS**)

LES LIMITES DE LA MODÉLISATION

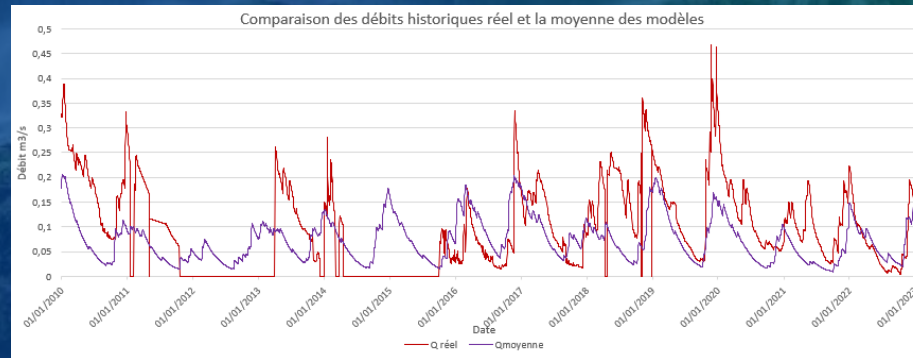
Période historique



Débit simulé
avec Karst Mod
SANS CC
(données
MétéoFrance)



Débit simulé avec
Karst Mod
Avec la Moyenne des 3
modèles de Pluie et
ETP, scénario RCP 8.5
(AVEC CC)
(données DRIAS)

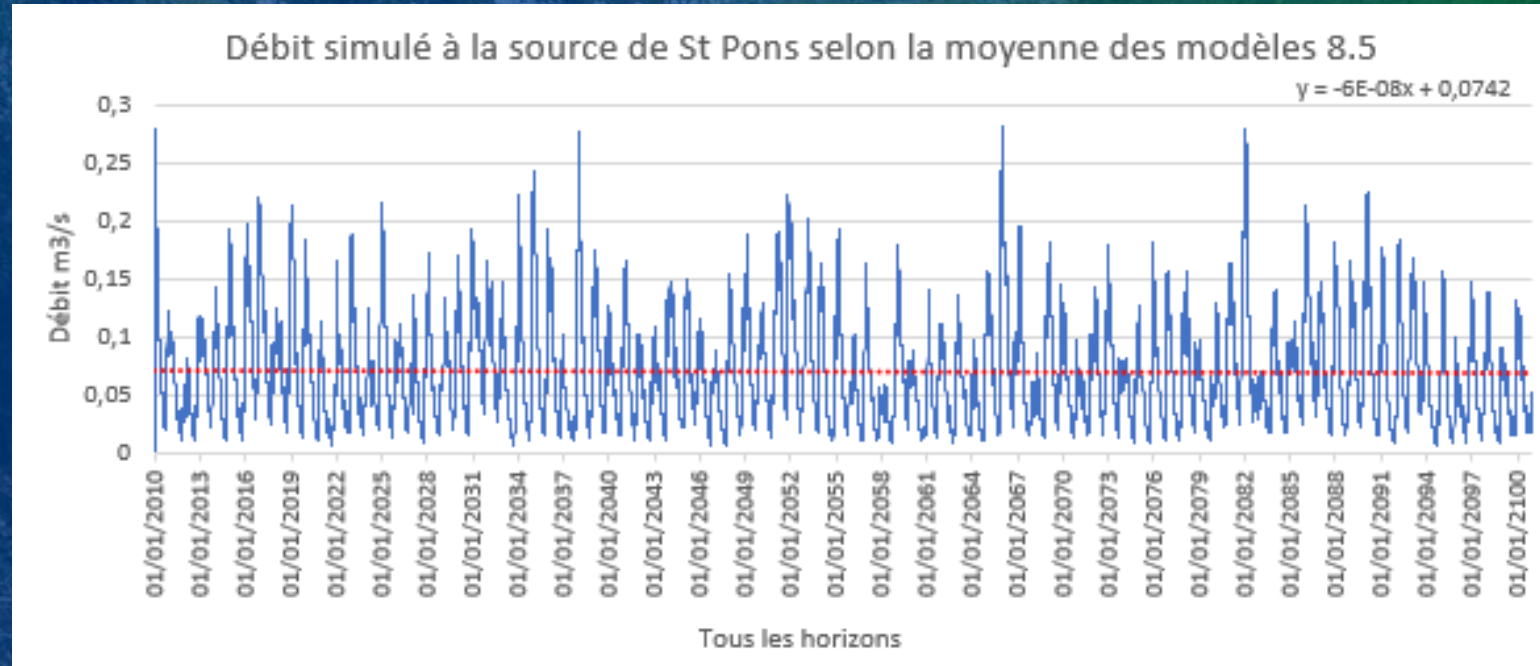


Discussion :

- Les données du DRIAS sont utiles pour voir les grandes tendances mais ne permettent pas de reconstituer le débit "historique" à pas de temps fin

- Il est nécessaire de comparer la pluie des modèles du DRIAS avec la pluie mesurée sur la période historique afin de déceler si l'état initial est respecté dans les modèles de pluie.

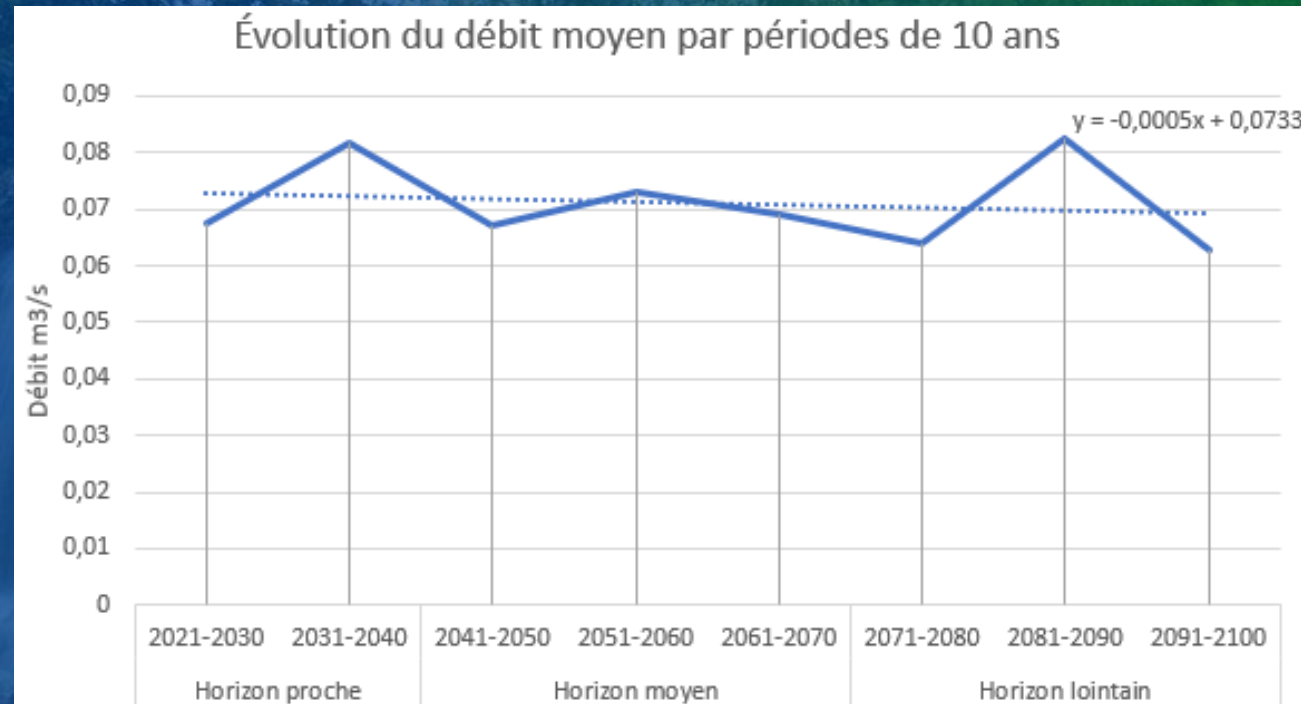
Résultats FUTURS (Moyenne des modèles DRIAS)



Utilisation du modèle en mode "Run".
Hypothèse forte non discutée : l'hydrosystème fonctionnera de la même façon qu'aujourd'hui

Les simulations futures montrent une baisse des débits moyens annuels (courbe rouge) à peine perceptible

Résultats FUTURS (Moyenne des modèles DRIAS)



Les simulations futures montrent de légères variations de moyenne interannuelle (10 ans)

Bilan de la modélisation



Les résultats de simulation exprimés en moyenne annuelle ou interannuelle masquent l'effet de variation du débit en basses-eaux et étiage. Si la diminution des précipitations est avérée, les débits de basses eaux diminueront d'ici 2100 (conjugué à l'augmentation de l'ETP).

La modélisation Pluie-Débit d'une source karstique peut servir à étudier l'effet théorique des variations de pluie et d'ETP. De nouvelles modélisations doivent être mises en oeuvre pour apporter des résultats à intégrer dans les choix de gestion des ressources en eau dans la région.

Ouvertures possibles à l'étude :

- Les conséquences du changement climatique sur la qualité des cours d'eau restent à étudier...
 - Les débits de basses eaux diminueront de combien ?
- L'augmentation de l'ETP aura-t-elle un impact sur la qualité de l'eau ?
 - Quelles mesures d'adaptation peuvent être mises en place ?

CONCLUSION

- L'étude a permis de mesurer l'évolution physico-chimique du cours d'eau entre la source Saint Pons et le bas de la cascade du moulin. Il reste à étudier la suite du cours d'eau du Fauge.
- Le tuf calcaire se dépose par précipitation chimique des ions calcium et hydrogénocarbonates contenus dans l'eau issue de l'aquifère carbonaté. Le dépôt n'a pas lieu à la source car l'eau souterraine est à l'équilibre calco-carbonique.
- La modélisation Pluie-Débit par modèle à réservoirs donne des résultats satisfaisants. Plusieurs structures de modèle ont été testées, sans différence significative dans les résultats.
- L'évolution du climat impactera les débits de la source, mais la simulation réalisée avec les données disponibles de la base de données DRIAS n'a pas montré d'écart majeur avec les débits moyens actuels. Il faut tester de nouveaux modèles, et explorer l'incertitude sur les données des projections climatiques pour aller plus loin dans l'étude de l'impact du changement climatique.



**MERCI DE VOTRE
ATTENTION !**

ANNEXES

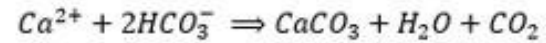
17/03/2023				
Nom	Distance à la source (m)	pH	Conductivité (µS/cm)	Température (°C)
Source de St Pons / Station 1	0	7.5	495	14
Station 2	30	7.6	493	13.9
Station 3	60	7.77	493	13.9
Station 4	100	7.75	493	13.8
Station 5	180	7.84	491	13.8
Station 6	250	8.1	488	13.9
Station 7	290	8.14	487	13.7
Station 8	300	8.22	474	13.6
Station 9	480	8.22	466	13.7
Station 10	700	8.27	463	14
Station 11	850	8.33	452	13.4
Avant la surverse de la galerie drainante (B)	/	8.1	461	12
Après la surverse de la galerie drainante (A)	/	8.1	460	11.9

24/03/2023				
Nom	Distance à la source (m)	pH	Conductivité (µS/cm)	Température (°C)
Source de St Pons / Station 1	0	7.52	486	14
Station 2	30	7.6	484	13.9
Station 3	60	7.75	483	13.9
Station 4	100	7.75	483	14
Station 5	180	7.84	482	14
Station 6	250	8.1	478	14
Station 7	290	8.14	477	14
Station 8	300	8.2	463	13.9
Station 9	480	8.23	452	14
Station 10	700	8.29	447	14.2
Station 11	850	8.28	435	14.2
Avant la surverse de la galerie drainante (B)	/	8.15	446	13.2
Après la surverse de la galerie drainante (A)	/	8.15	445	13.3

07/04/2023				
Nom	Distance à la source (m)	pH	Conductivité (µS/cm)	Température (°C)
Source de St Pons / Station 1	0	7.5	483	13.9
Station 2	30	7.62	482	13.8
Station 3	60	7.77	481	13.8
Station 4	100	7.75	481	13.8
Station 5	180	7.8	479	13.7
Station 6	250	8.1	476	13.7
Station 7	290	8.14	473	13.4
Station 8	300	8.22	454	12.9
Station 9	480	8.22	452	13.1
Station 10	700	8.23	450	13.3
Station 11	850	8.3	442	12.8
Avant la surverse de la galerie drainante	/	8.16	445	10.4
Après la surverse de la galerie drainante	/	8.15	447	10.4

Remarque sur l'exploitation des données : Le conductimètre de terrain présente un biais de mesure. La conductivité électrique mesurée est plus basse que la vraie valeur. Seules les variations relatives sont validées

ANNEXES



	HCO_3^-		Ca^{2+}	
Masse Molaire ($mg \cdot mol^{-1}$)	61 017		40 075	
Concentration ($mol \cdot l^{-1}$)	$4,8 \cdot 10^{-3}$ Station 7	$4,6 \cdot 10^{-3}$ Station 8	$1,68 \cdot 10^{-3}$ Station 7	$1,52 \cdot 10^{-3}$ Station 8

Tableau d'avancement de la précipitation de la calcite.

	Ca^{2+}	+	$2HCO_3^-$	\Rightarrow	$CaCO_3$	+	H_2O	+	CO_2
État Initial	n_1		n_2		0		0		0
État Final	$n_1 - xmax$		$n_2 - 2xmax$		$xmax$				

Détermination du réactif limitant.

Pour la station 7 on obtient : $xmax = 1,68 \cdot 10^{-3}$ avec Ca^{2+} limitant
 Pour la station 8 on obtient : $xmax = 1,52 \cdot 10^{-3}$ avec Ca^{2+} limitant

Calcul de la masse de $CaCO_3$.

$$M_{CaCO_3} = 100\,090 \text{ mg/mol}$$

$$m_{CaCO_3} = M_{CaCO_3} \times n_{CaCO_3}$$

Pour la station 7

$$m_{CaCO_3} = 100\,090 \times 1,68 \cdot 10^{-3} = 168,15 \text{ mg}$$

Pour la station 8

$$m_{CaCO_3} = 100\,090 \times 1,52 \cdot 10^{-3} = 152,14 \text{ mg}$$

La masse de dépôt correspond à la différence entre ces deux points donc,

$$C_{CaCO_3, TOT} = 168,15 - 152,14 = 16,01 \text{ mg} \cdot l^{-1}$$