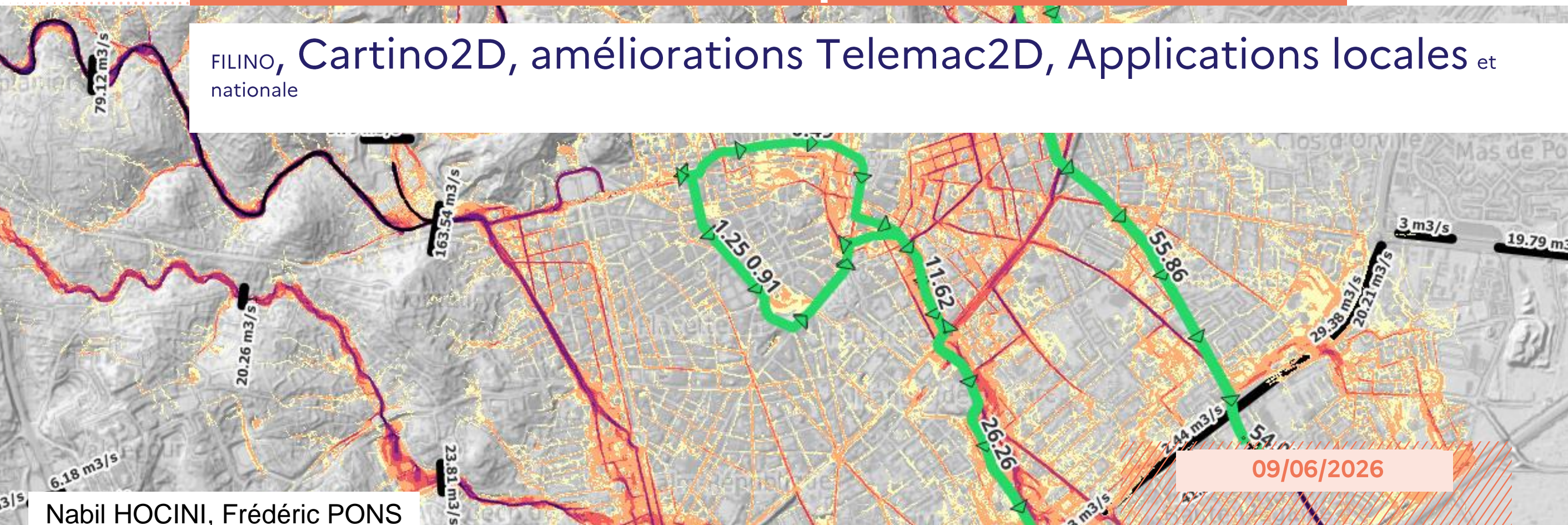


# Modélisation automatique des inondations

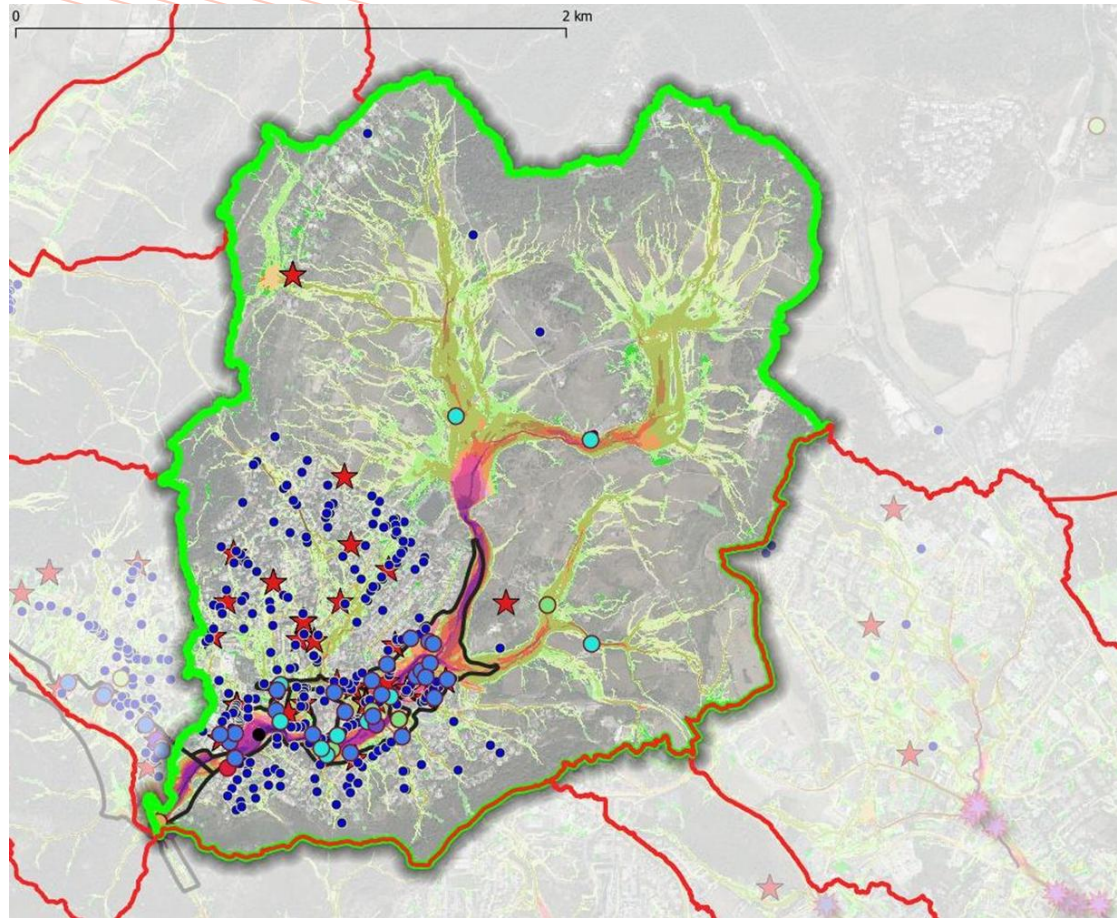
FILINO, Cartino2D, améliorations Telemac2D, Applications locales et nationale



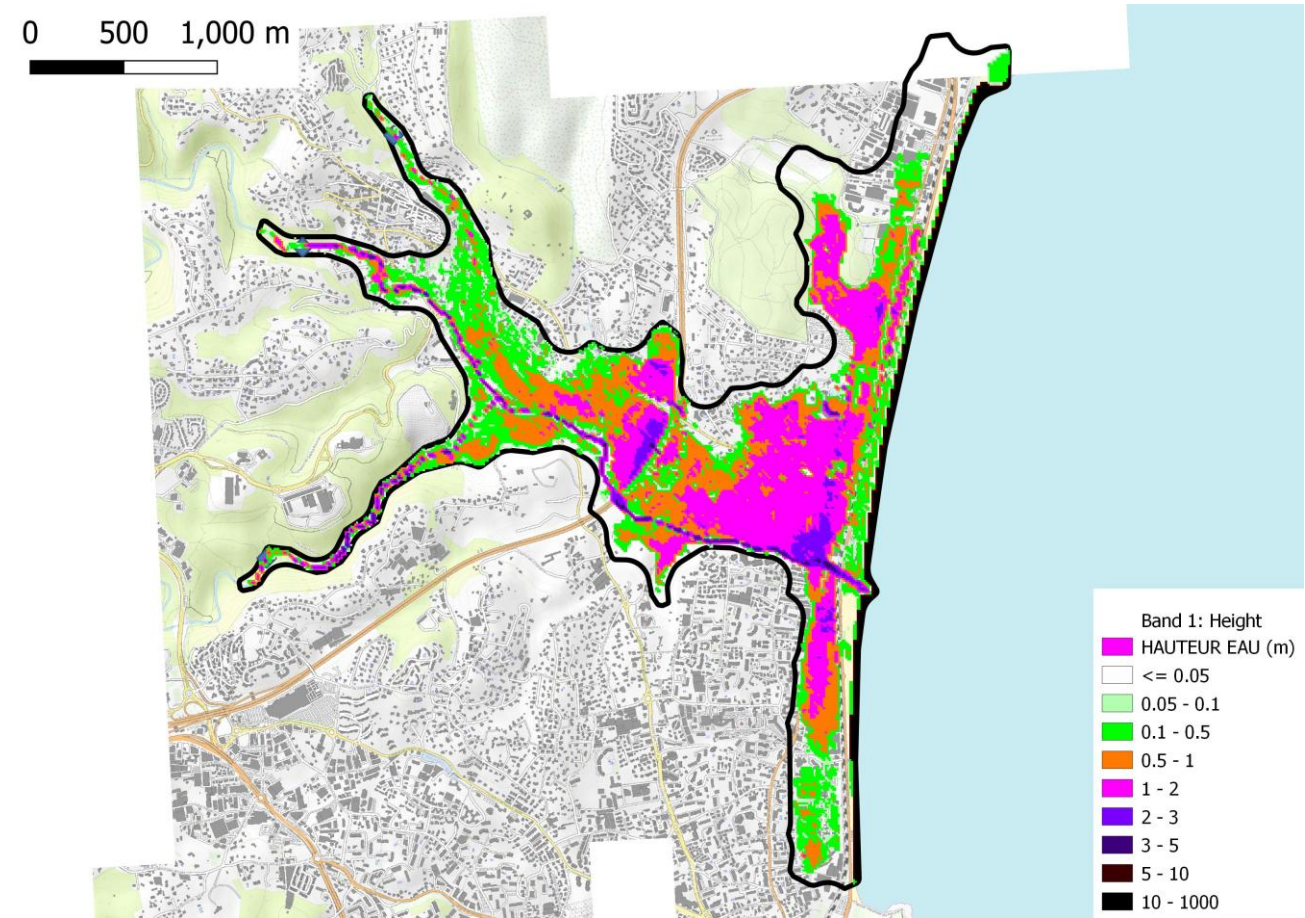
Nabil HOCINI, Frédéric PONS

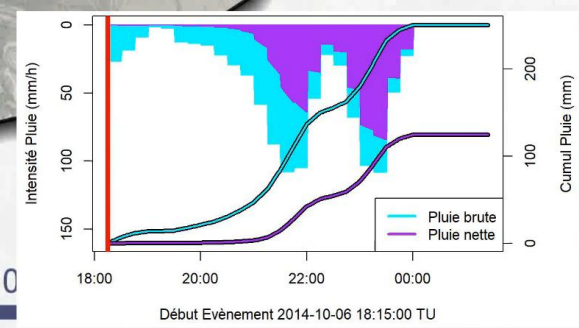
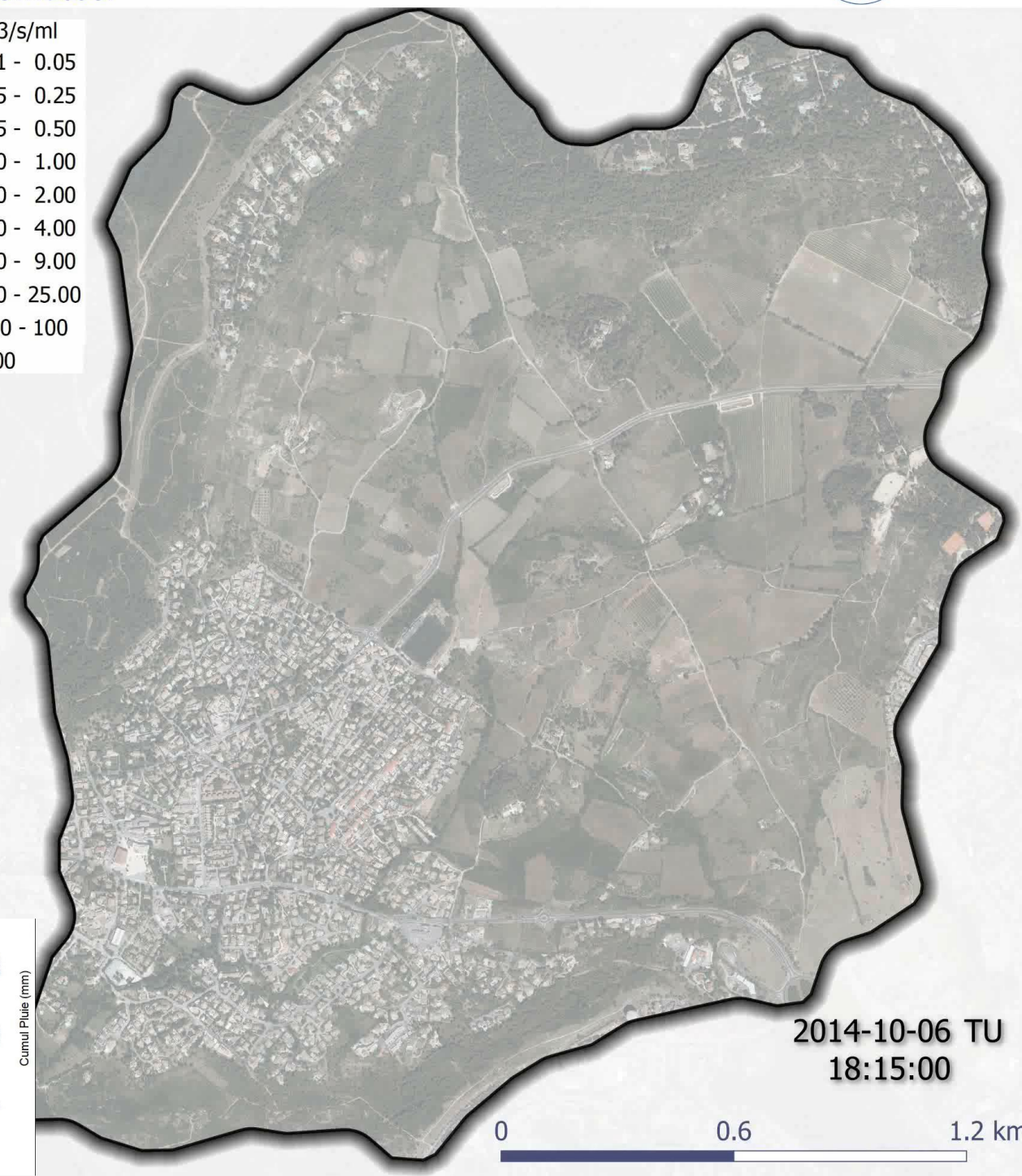
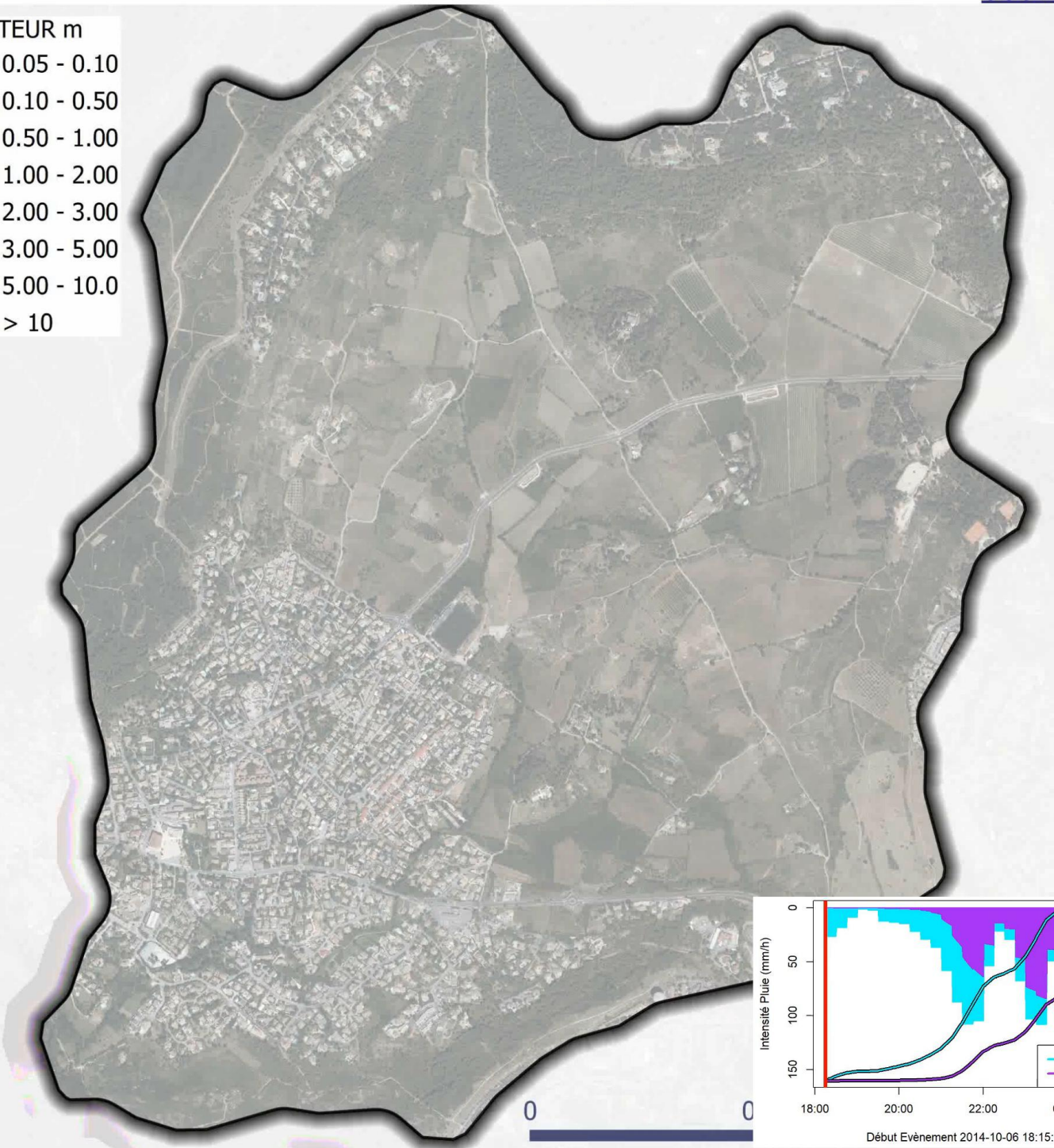
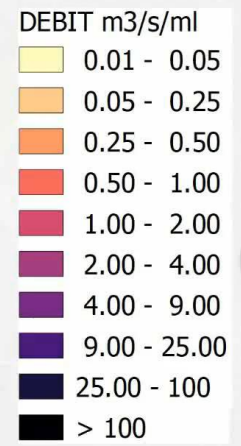
# CARTINO2D : CARTOGRAPHIE DES INONDATIONS À 2 DIMENSIONS

Cartographie des têtes de bassins versants



Cartographie du débordement de cours d'eau





2014-10-06 TU  
18:15:00

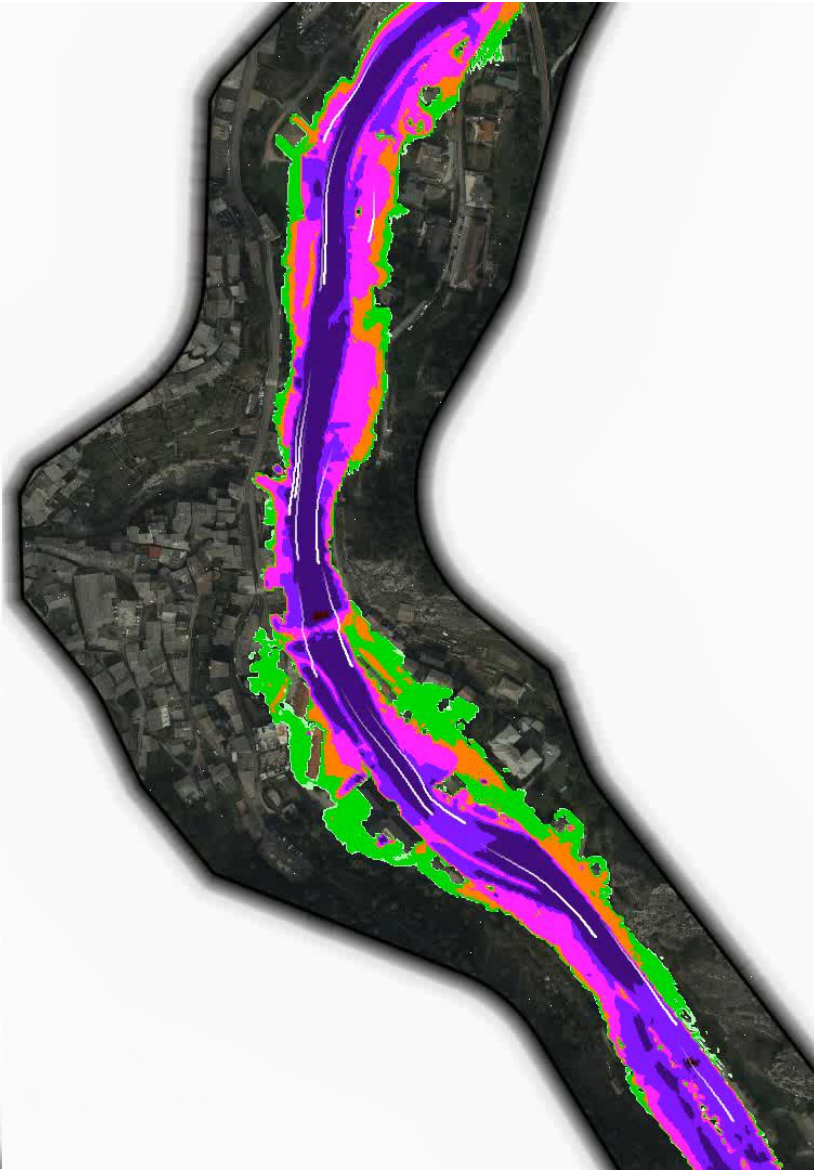
# EXEMPLE CARTINO2D DÉBIT

0 30 m



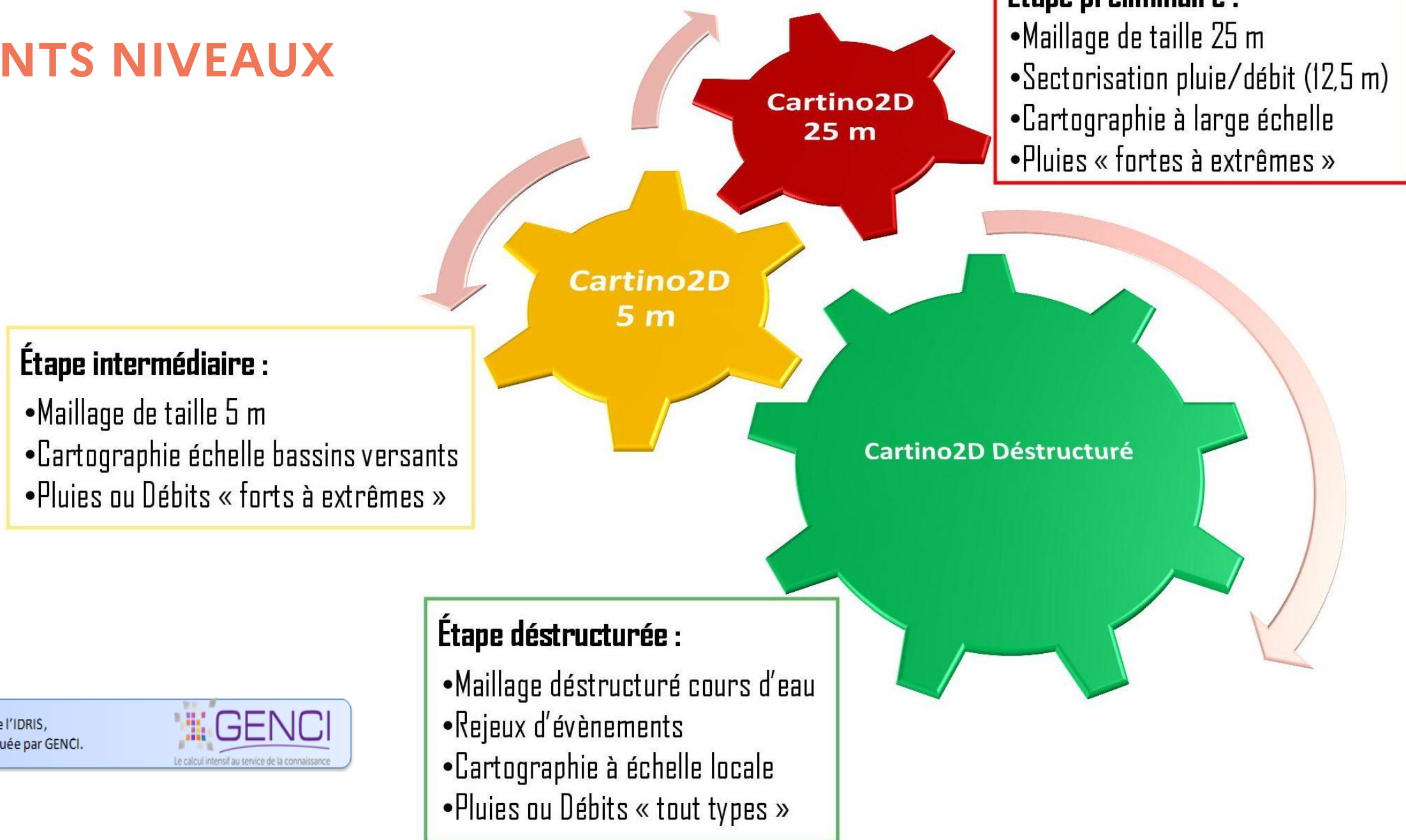
Orthophoto IGN Ante ALEX

0 30 m



Orthophoto IGN post ALEX

# DIFFÉRENTS NIVEAUX

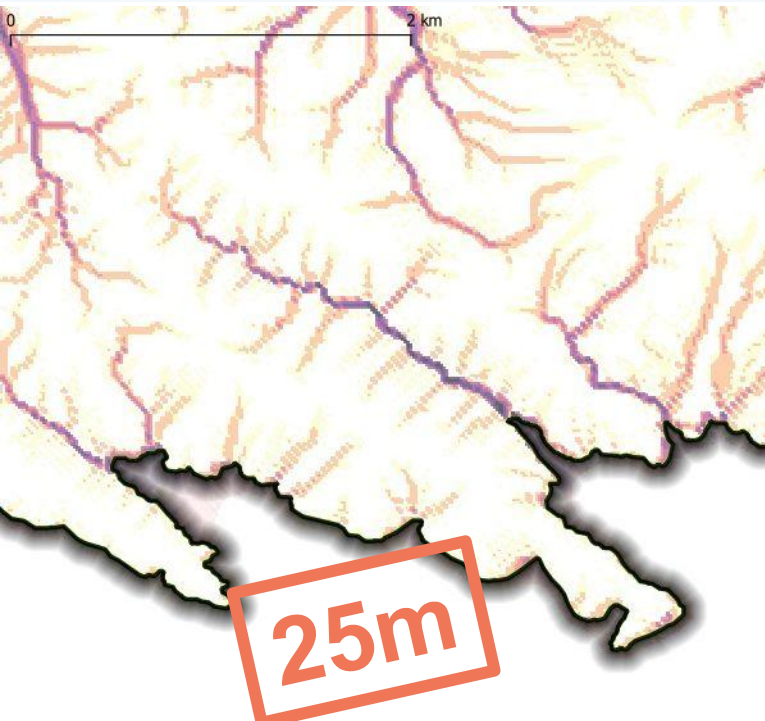


Ces travaux ont bénéficié d'un accès aux ressources en IA de l'IDRIS, au travers de l'allocation de ressources AD010113401 attribuée par GENCI.

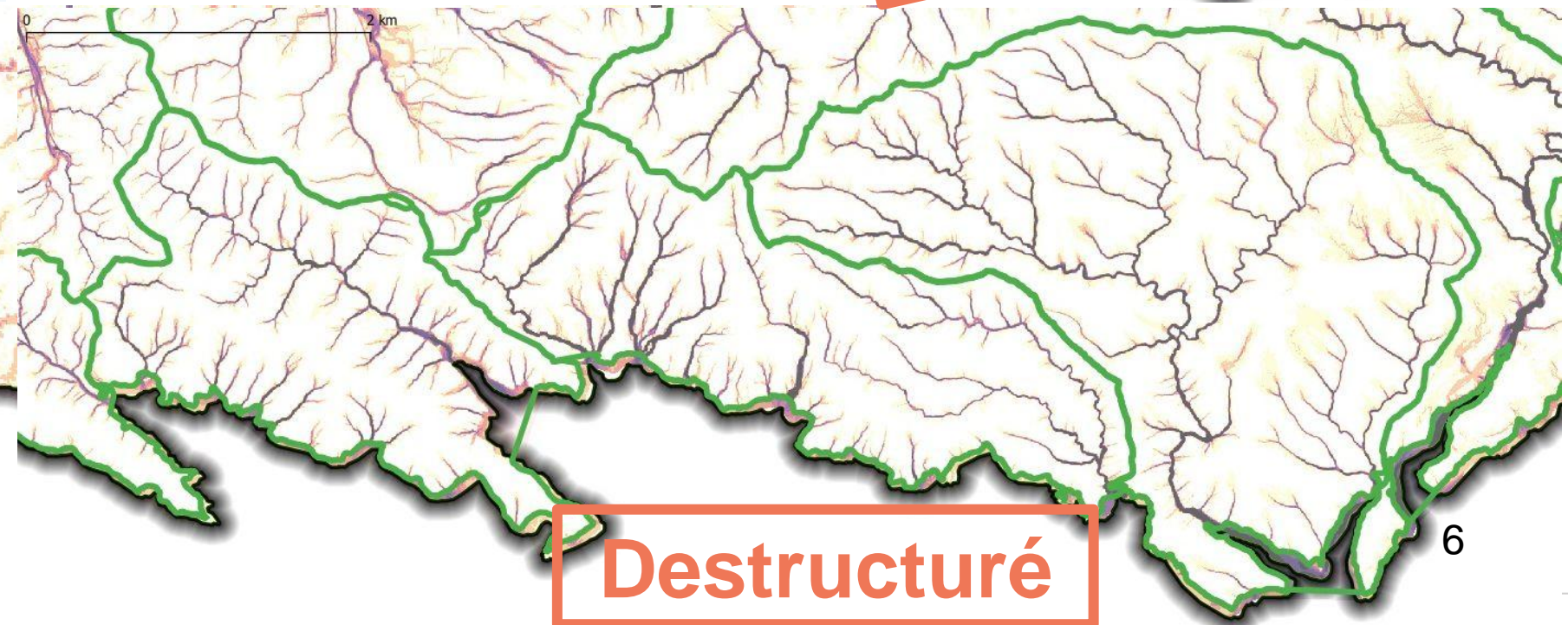




5m



25m



Destructuré

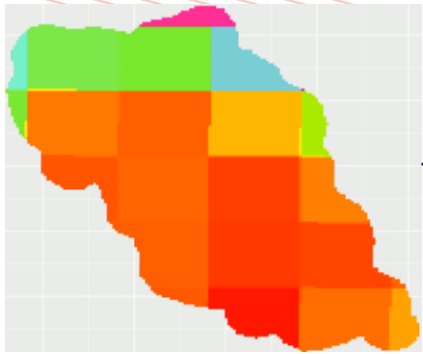
6

# Développements réalisés

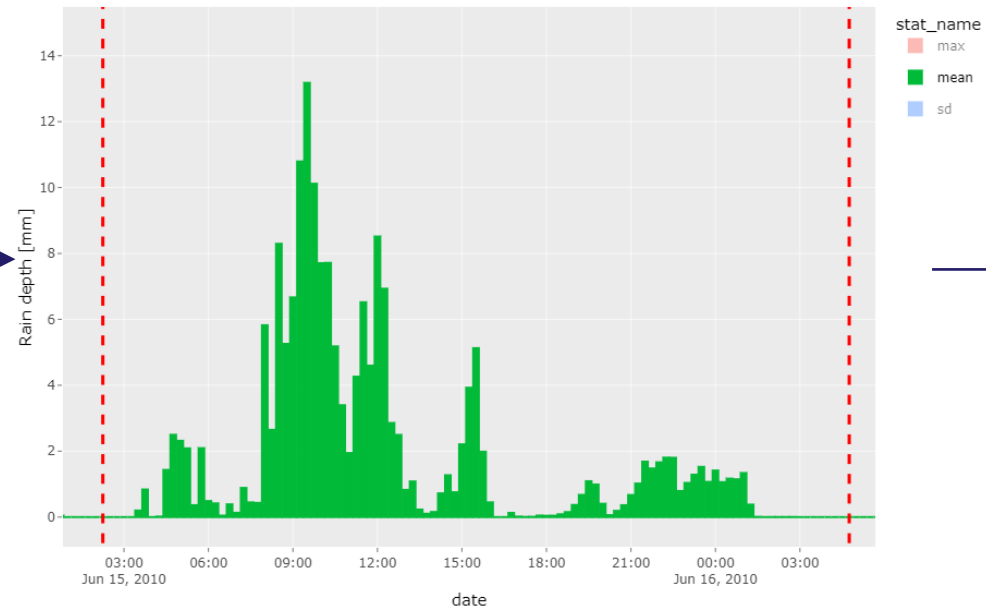
1. Prise en compte de la pluie spatialisée
2. OH flash
3. Création et lecture d'abaques d'ouvrages hydrauliques

# PRISE EN COMPTE DE LA PLUIE SPATIALISÉE

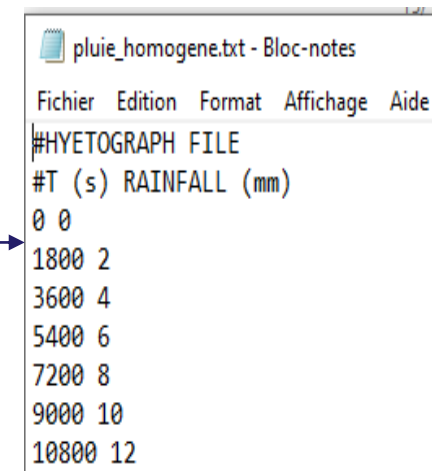
Pluie radar



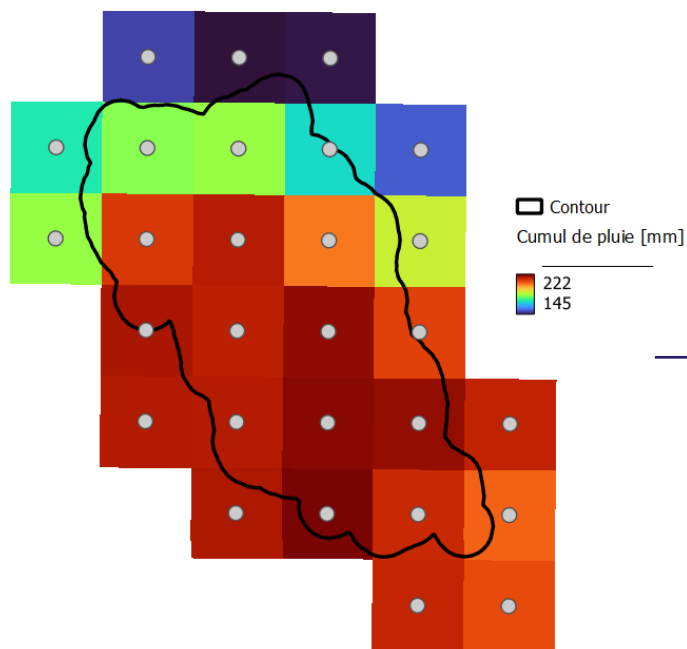
Pluie moyennée sur le bassin versant



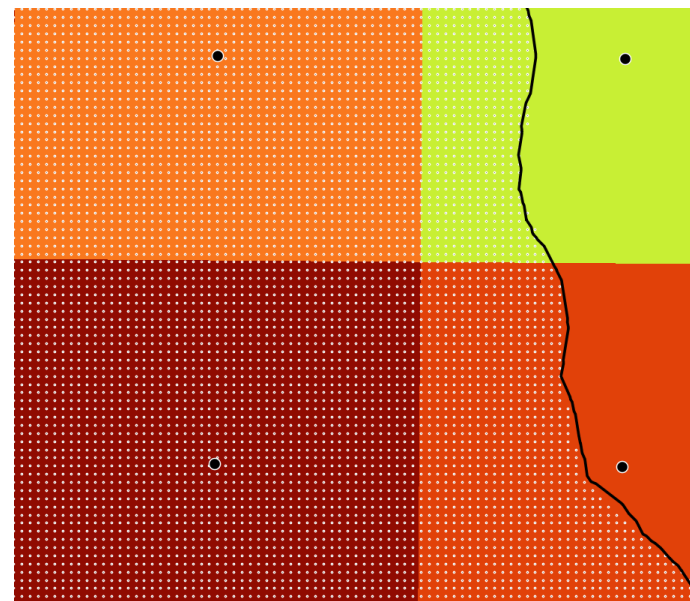
Hyétogramme pour Telemac2D



# PRISE EN COMPTE DE LA PLUIE SPATIALISÉE



Pixels de pluie radar +  
centroïdes



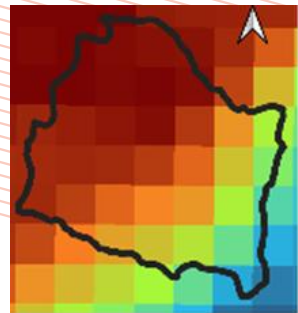
Interpolation par le plus proche voisin

Pluie spatialisée pour  
Telemac2D

```
#Pluie spatialisée  
9,120  
802168.59,6301825.26  
802668.7,6301821.56  
802164.89,6301325.14  
802665,6301321.45  
803165.12,6301317.75  
802661.31,6300821.33  
803161.42,6300817.64  
803157.73,6300317.52  
803657.85,6300313.83  
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0  
1800, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2  
3600, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4  
5400, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 6  
7200, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8  
9000, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10  
10800, 12, 12, 12, 12, 12, 12, 12, 12, 12  
12600, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14  
14400, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16  
16200, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18  
18000, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 20  
19800, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18, 18
```

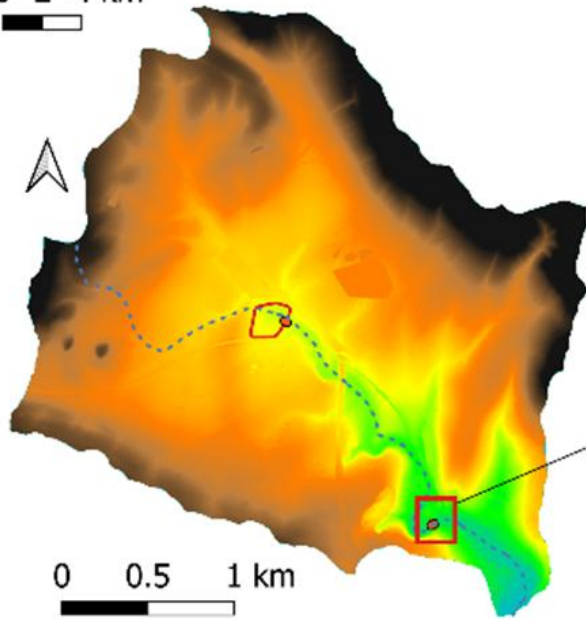
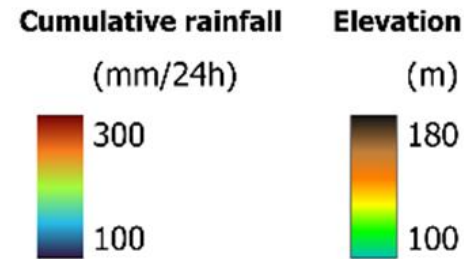
[https://gitlab.pam-ret.d.fr/otm/telemac-mascaret/-/tree/muffins?ref\\_type=heads](https://gitlab.pam-ret.d.fr/otm/telemac-mascaret/-/tree/muffins?ref_type=heads)

# SPATIALISATION DE LA PLUIE : NIMES 2014



0 2 4 km

- Levees
- Culverts
- - - Watercourse
- Control section



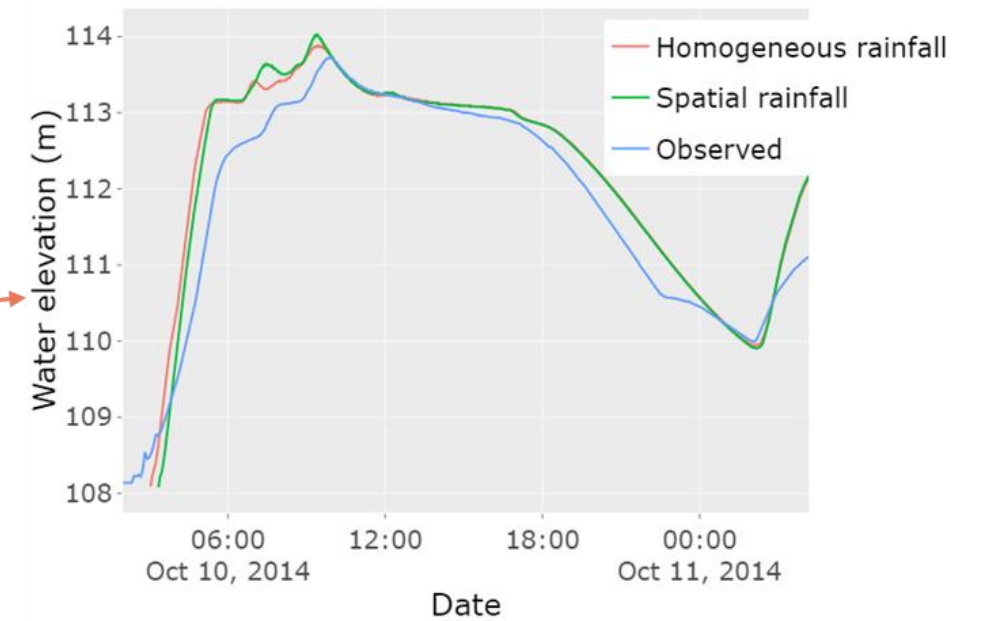
0 0.5 1 km



0 25 50 m

## TELEMAC-2D upgrades: Rainfall spatialization and control sections

Nabil Hocini, Frédéric Pons  
 nabil.hocini@cerema.fr, Aix-en-Provence, FRANCE  
 CEREMA Méditerranée, Natural Hazards Department



HAUTEUR m



DEBIT m3/s/ml



HAUTEUR m



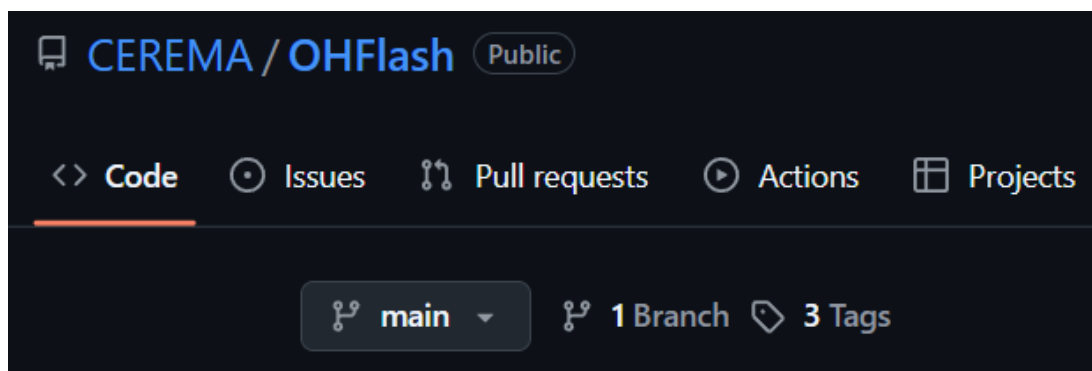
DEBIT m3/s/ml



# OH FLASH

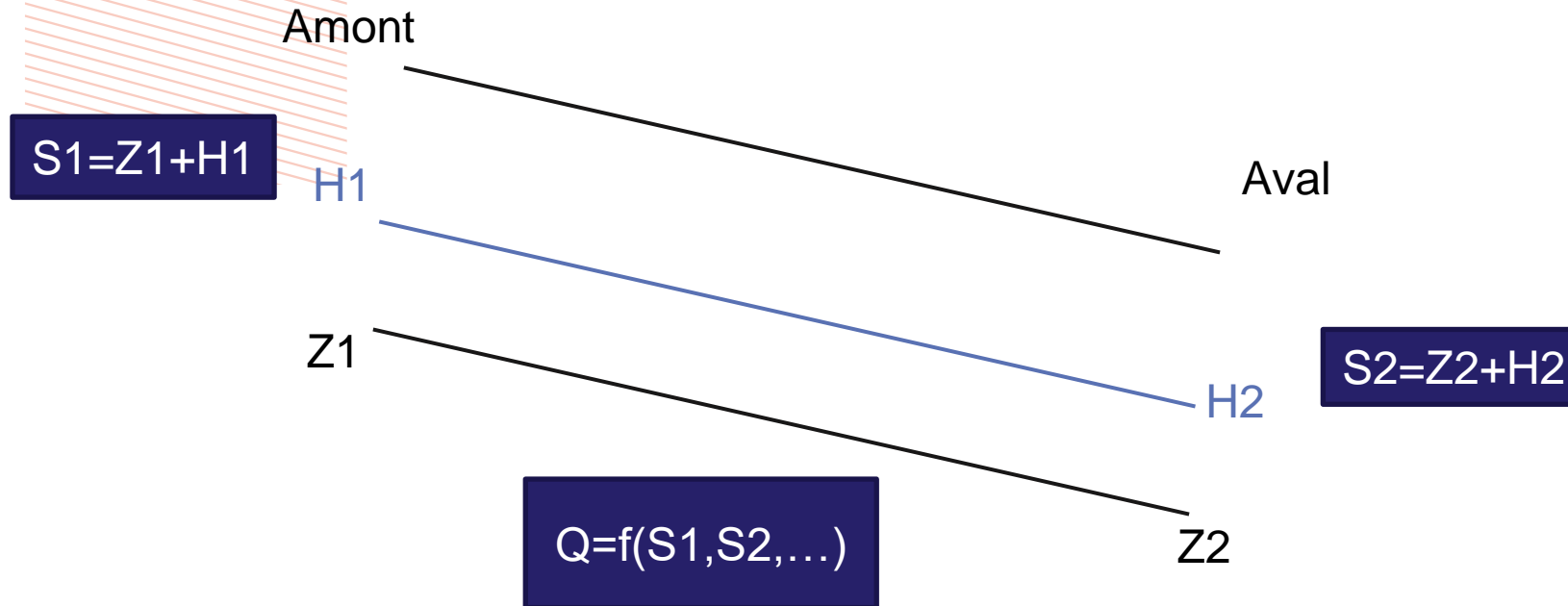
Plugin Qgis développé par Nassim Cheikh durant son alternance

- ❑ Permet de zoomer automatiquement sur une série d'entités géométriques (Points, lignes, polygones), afin d'effectuer des vérifications



# LES OUVRAGES HYDRAULIQUES DANS TELEMAC 2D

- ❑ Le débit est fonction des cotes de la ligne d'eau amont et aval de la buse

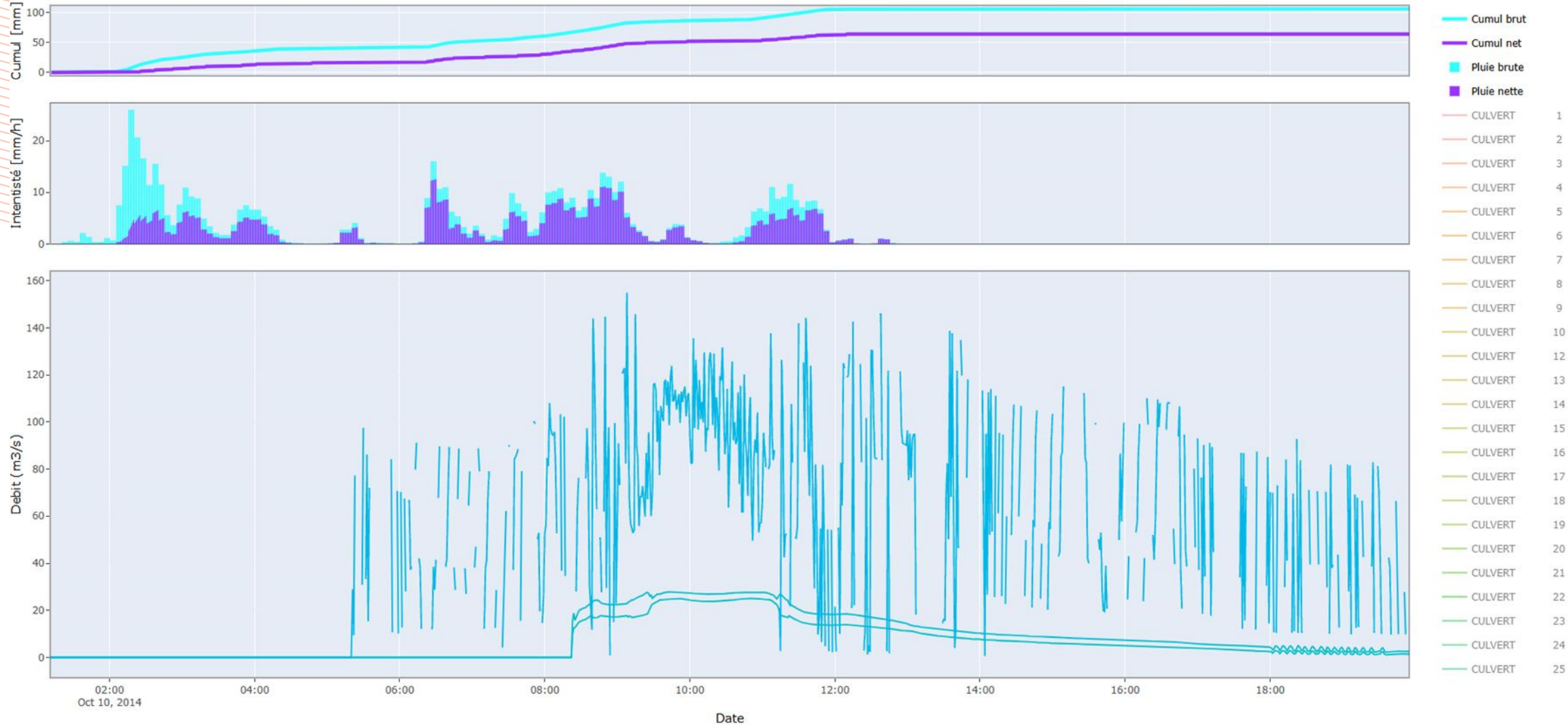


➤ Forte instabilité constatée

➤ Forte limitation du débit maximal OH

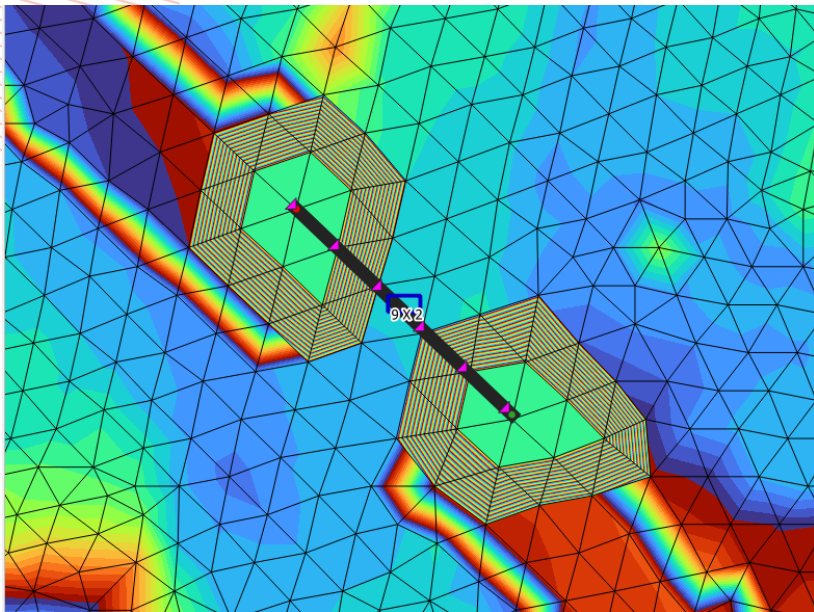
# LES OUVRAGES HYDRAULIQUES DANS TELEMAC 2D

Hyéto + Q OH C38\_073342km\_X807909Y6305489\_Evts201410100110\_12h50min\_AMC2 (Pluie sur tout le bassin)

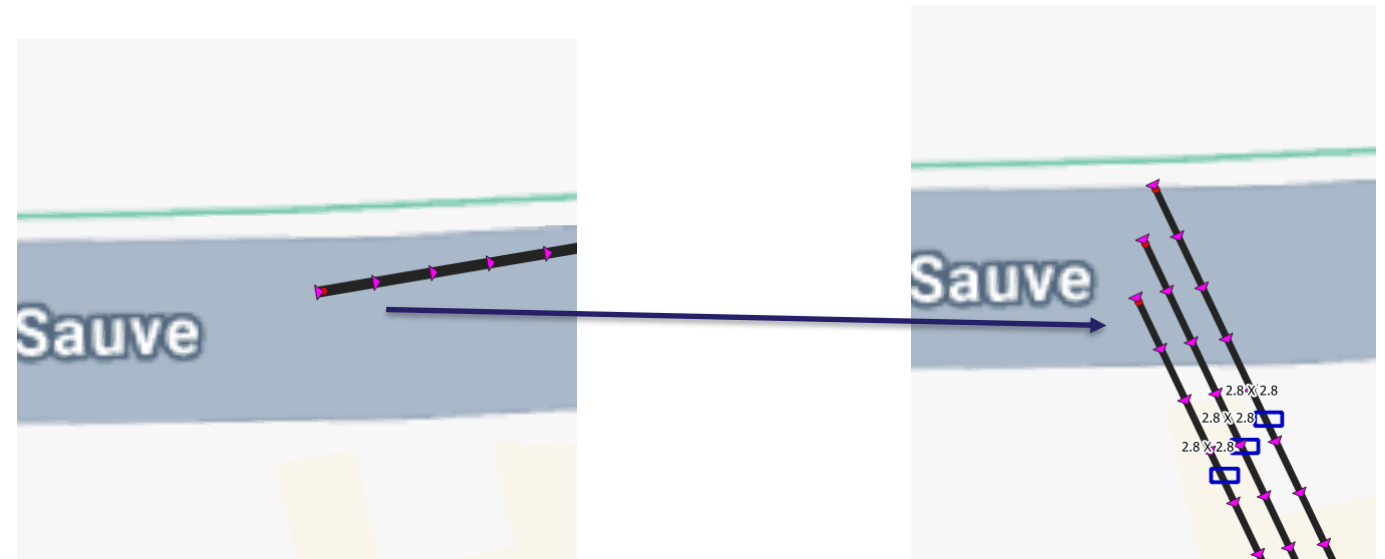


# ESSAIS D'AMÉLIORATION DU CALCUL DES OH

Creuser un puits de stabilisation de l'écoulement en entrée et sortie de l'OH



Essai : division d'un OH en plusieurs OH



# ABAQUES PRÉCALCULÉS AVEC MASCARET



## Génération (R + Mascaret)

Un script R pilote des simulations 1D (Mascaret) pour pré-calculer les lois côte-débit (abaques).



## Intégration (Telemac2D)

La routine `buse.f` de Telemac2D est modifiée pour appeler une fonction d'interpolation DISCHARGE\_INTERPOL.f

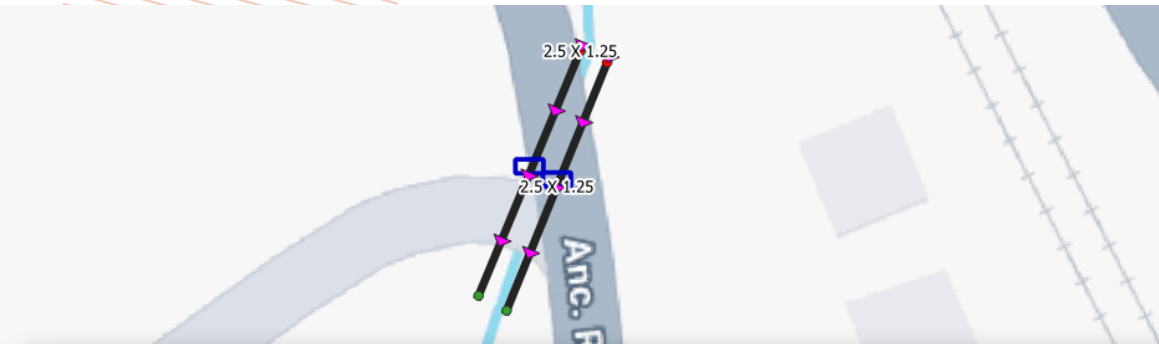


## Calcul (Fortran)

La subroutine `DISCHARGE\_INTERPOL` lit l'abaque et interpole le débit à chaque pas de temps.

# CONSTRUCTION AUTOMATIQUE DE LA GÉOMÉTRIE

Base de données OH : extraction des paramètres géométriques



| id | LRG | HAUT1 | Z1   | Z2     | HAUT2  | FRIC | LENGTH | CIRC             |    |
|----|-----|-------|------|--------|--------|------|--------|------------------|----|
| 1  | 5   | 2.5   | 1.5  | 105.39 | 105.32 | 1.5  | 0.0125 | 28.5             | 2  |
| 2  | 11  | 1     | 2    | 79.6   | 29.5   | 1    | 0.0125 | 2200             | 2  |
| 3  | 18  | 5.8   | 2.95 | 106.62 | 106.58 | 2.95 | 0.0125 | 4700000000000002 | 8. |
| 4  | 24  | 3     | 4.2  | 79.35  | 79.22  | 4.2  | 0.0125 | 11.42            | 2  |
| 5  | 34  | 4.47  | 2.3  | 56.26  | 56.13  | 2.3  | 0.0125 | 7.4              | 2  |
| 6  | 35  | 4.39  | 2.94 | 55.75  | 55.7   | 2.94 | 0.0125 | 7.4              | 2  |
| 7  | 66  | 8     | 5    | 122.42 | 122.4  | 5    | 50     | 44.44            | 2  |
| 8  | 68  | 3.2   | 2.8  | 125.13 | 125.08 | 2.8  | 50     | 9.17             | 2  |

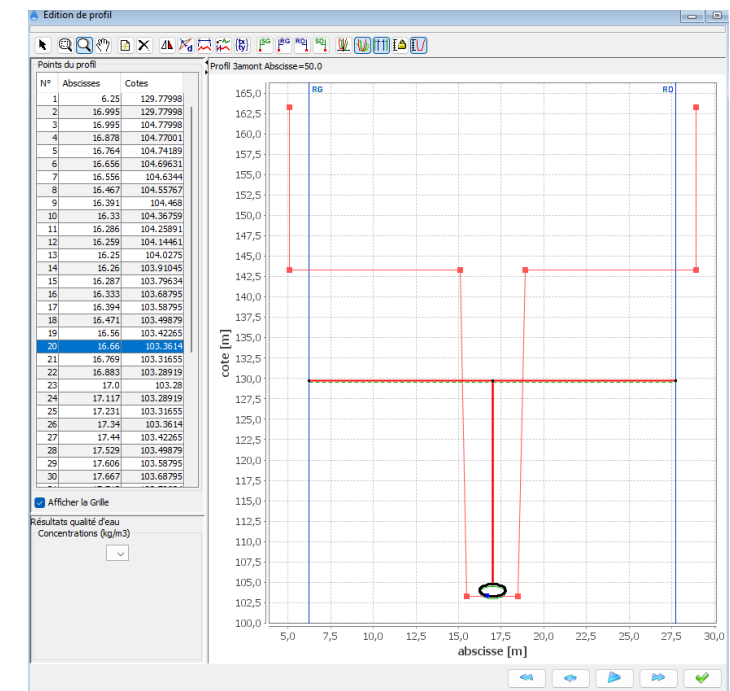
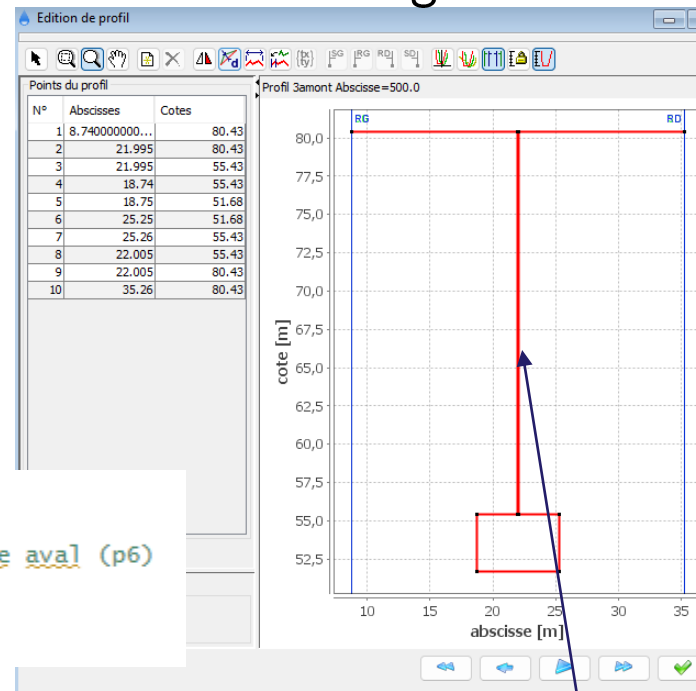
```
# --- 0.4. Paramètres de la géométrie ---  
dist_ament_limite <- 1000.0  
dist_p4_p6 <- 2000 # Distance entre la sortie de la buse (corrigée à p5) et la limite aval (p6)  
num_points_per_profile <- 101  
dist_extraction_profile <- 3.0  
preissmann_slot_width <- 0.01 # Largeur de la fente de Preissmann en mètres
```

## 6 profils en travers

- 2 représentant entrée et sortie de l'OH
- 2 en amont OH
- 2 en aval OH

## Forme des profils en travers amont/aval OH :

- Trapèze
- Extraction de la géométrie réelle du MNT

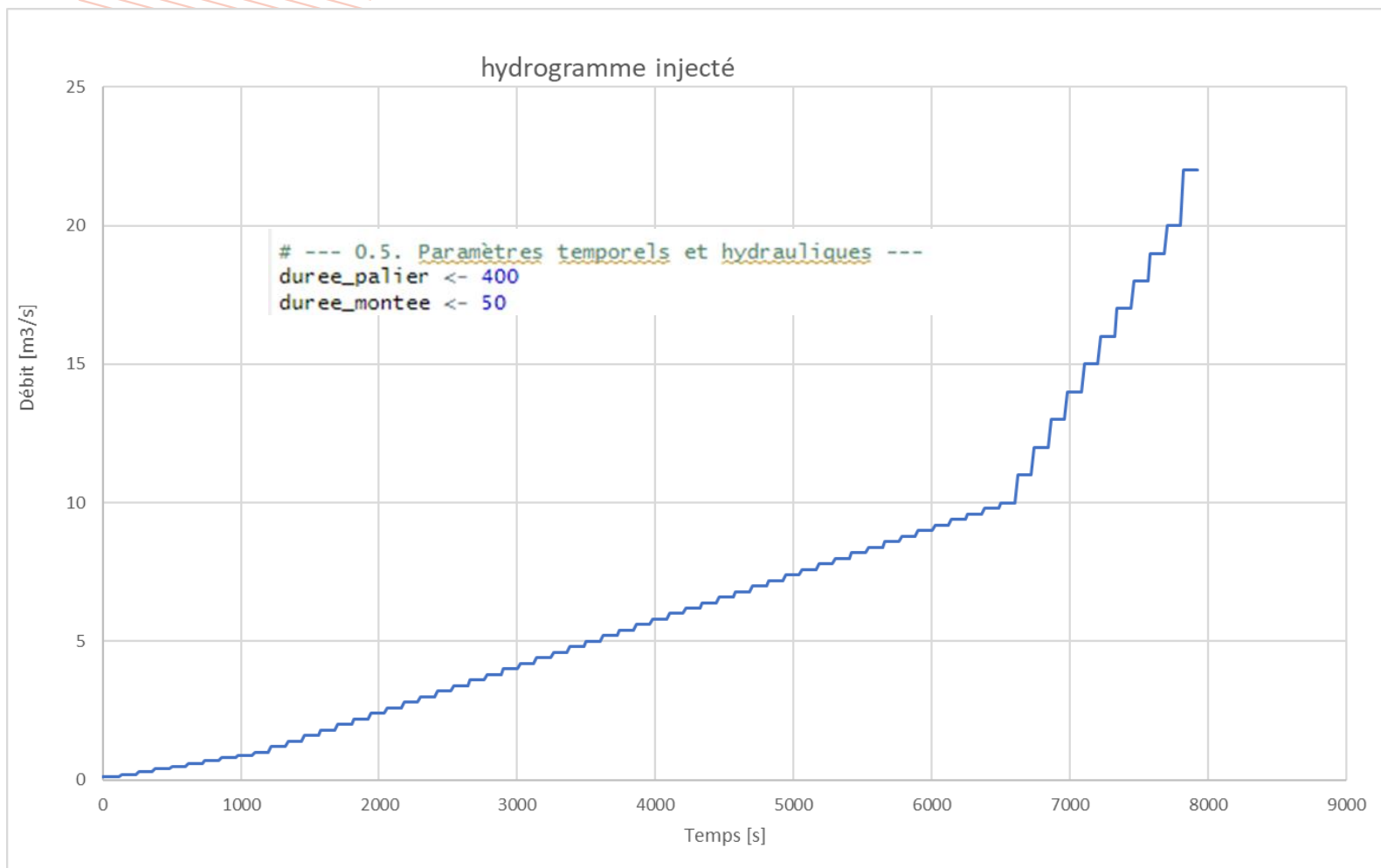


Ajout d'une fente de Preissmann

# DÉBIT ET CONDITION AVAL

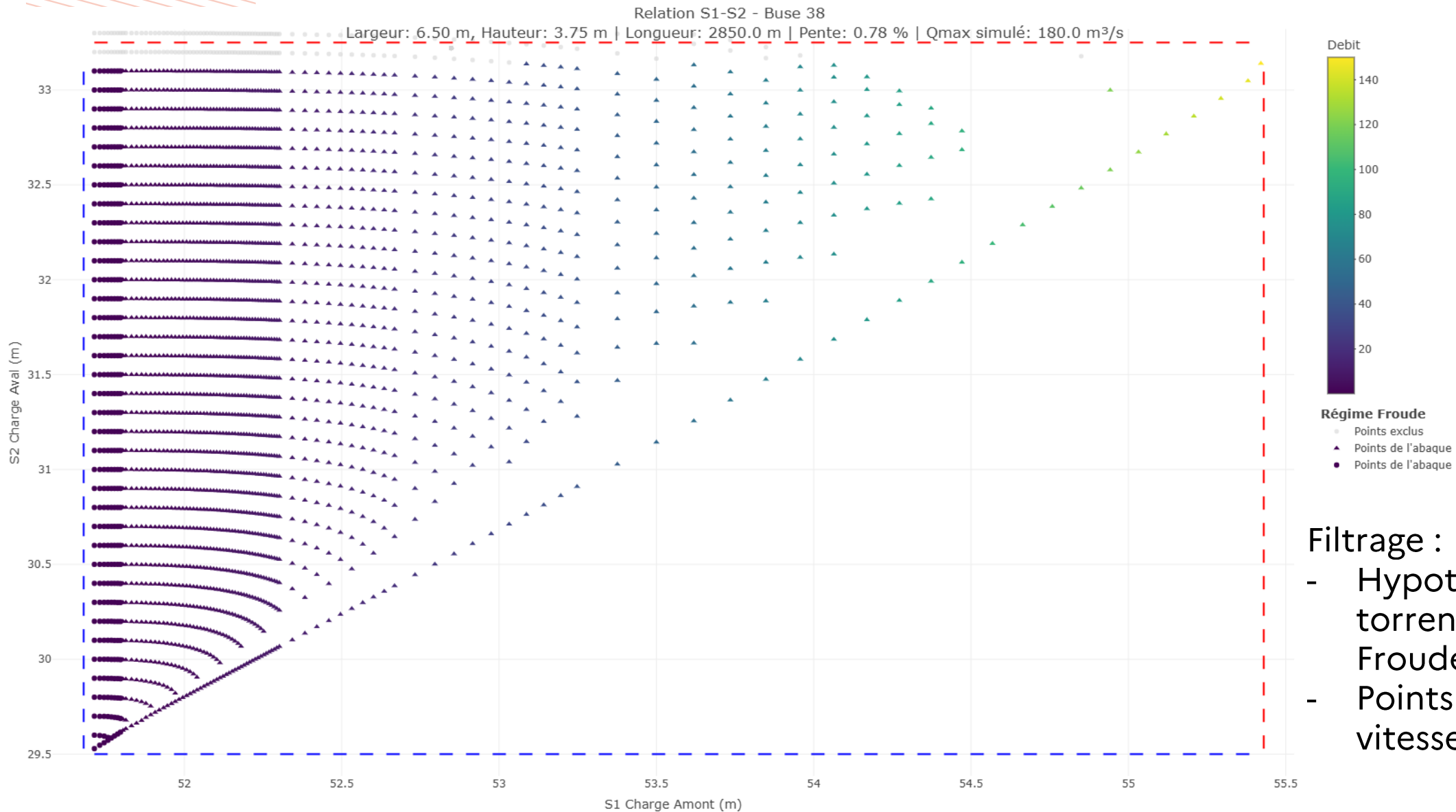
**Débit** : Liste de valeurs croissantes avec un plateau de stabilisation  
**Valeurs**: 0.1m<sup>3</sup>/s -> débit max OH (précalculé avec Manning Strickler)

**Altitude aval** : de l'altitude aval radier OH -> altitude plafond OH + 1mètre



- limni\_Z58.390.loi
- limni\_Z58.490.loi
- limni\_Z58.590.loi
- limni\_Z58.690.loi
- limni\_Z58.790.loi
- limni\_Z58.890.loi
- limni\_Z58.990.loi
- limni\_Z59.090.loi

# CRÉATION DE L'ABAQUE

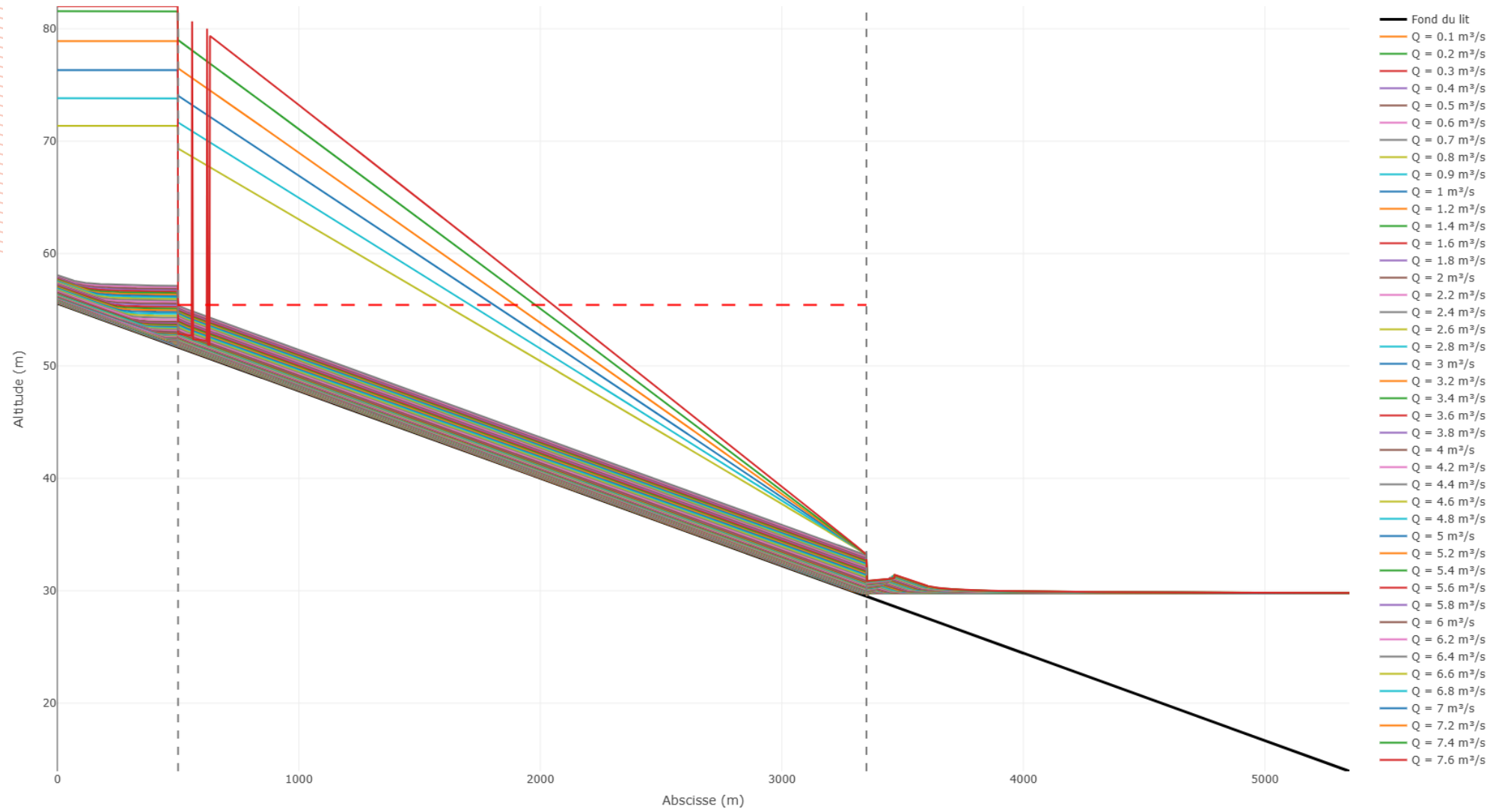


## Filtrage :

- Hypothèse d'écoulement torrentiel dans l'ouvrage = Froude > 1
- Points aberrants : vitesses > 7 m/s, Froude > 5

# CRÉATION DE L'ABAQUE

Profil en long - buse38\_scenario\_Z29.800



# CRÉATION DE L'ABAQUE

Profil en long - buse38\_scenario\_Z29.800



# UTILISATION DE L'ABAQUE (LECTURE ET INTERPOLATION)

```
#abaqueSQ
1
Nombre de points 88
Débit 0.10,0.10,0.20,0.20,0.20,0.30,0.30,0.30,0
S1 103.44,103.44,103.50,103.50,103.50,103.56,
S2 103.14,103.30,103.20,103.27,103.39,103.24,
2
67
0.10,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60,0.70,0.80,0
100.51,100.54,100.57,100.59,100.61,100.63,
100.45,100.49,100.51,100.54,100.56,100.58,
3
48
0.10,0.10,0.10,0.20,0.20,0.20,0.30,0.30,0
111.50,111.50,111.50,111.57,111.57,111.57,
111.15,111.32,111.43,111.20,111.41,111.52,
```

$$Q=f(S1,S2)$$

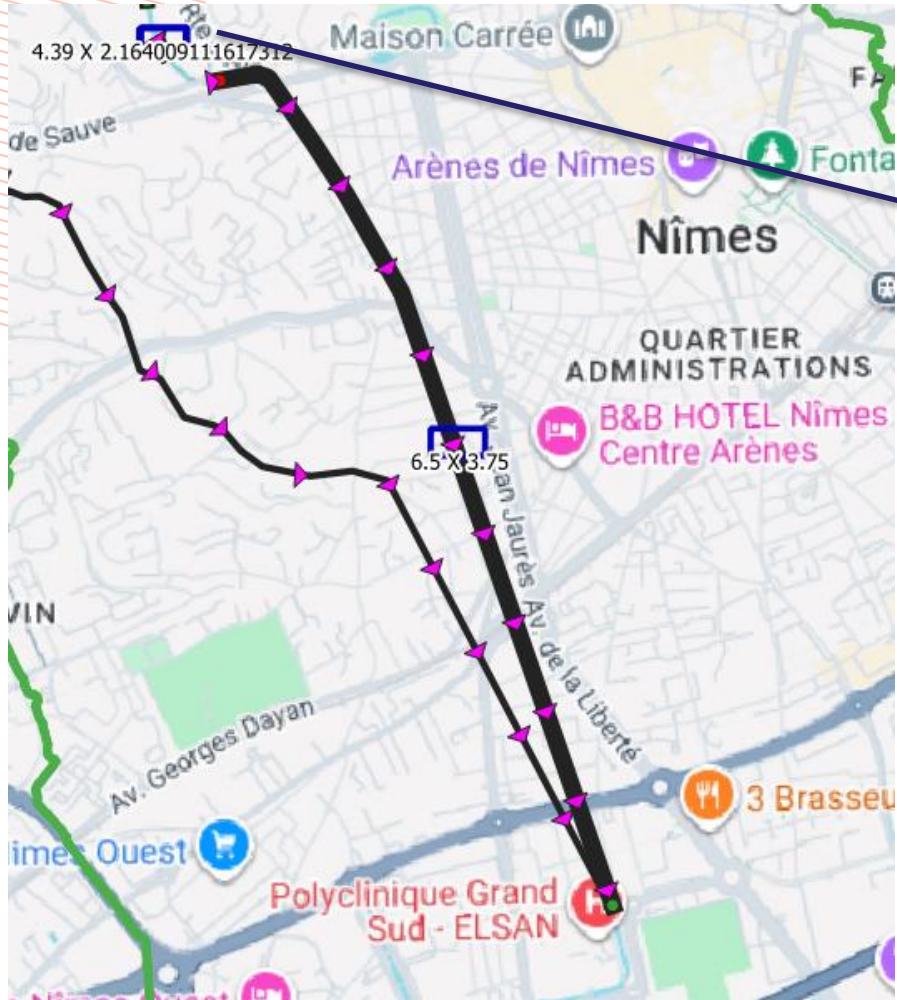
2D K-NN IDW moyenne pondérée des débits des 4 plus proches voisins (K=4) dans le plan des charges amont (S1) et aval (S2)

```
#abaqueQS1
1
Nombre de points 55
Débit 0.10,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60,0.70,0.80,0.90,1.00,1.20,1.40,1.
S1 103.44,103.50,103.56,103.60,103.64,103.67,103.70,103.73,103.76,
2
67
0.10,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60,0.70,0.80,0.90,1.00,1.20,1.40,1.
100.51,100.54,100.57,100.59,100.61,100.63,100.65,100.67,100.69,
3
37
0.10,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60,0.70,0.80,0.90,1.00,1.20,1.40,1.
111.50,111.57,111.63,111.68,111.72,111.76,111.79,111.83,111.86,
```

$$Q=f(S1)$$

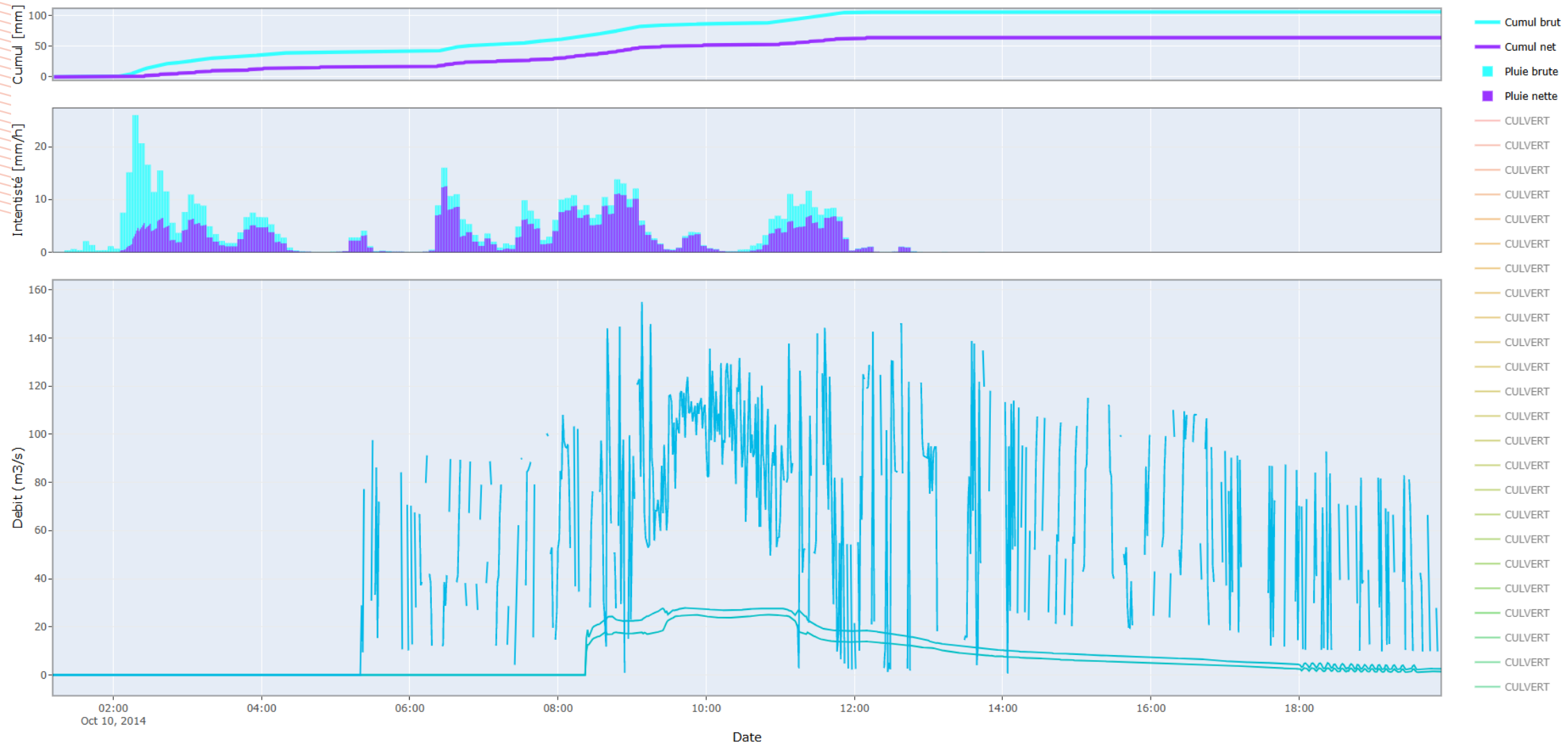
Interpolation linéaire du débit sur S1

# EXEMPLE DE RÉSULTAT : CAS DU CADREAU D'ALÈS



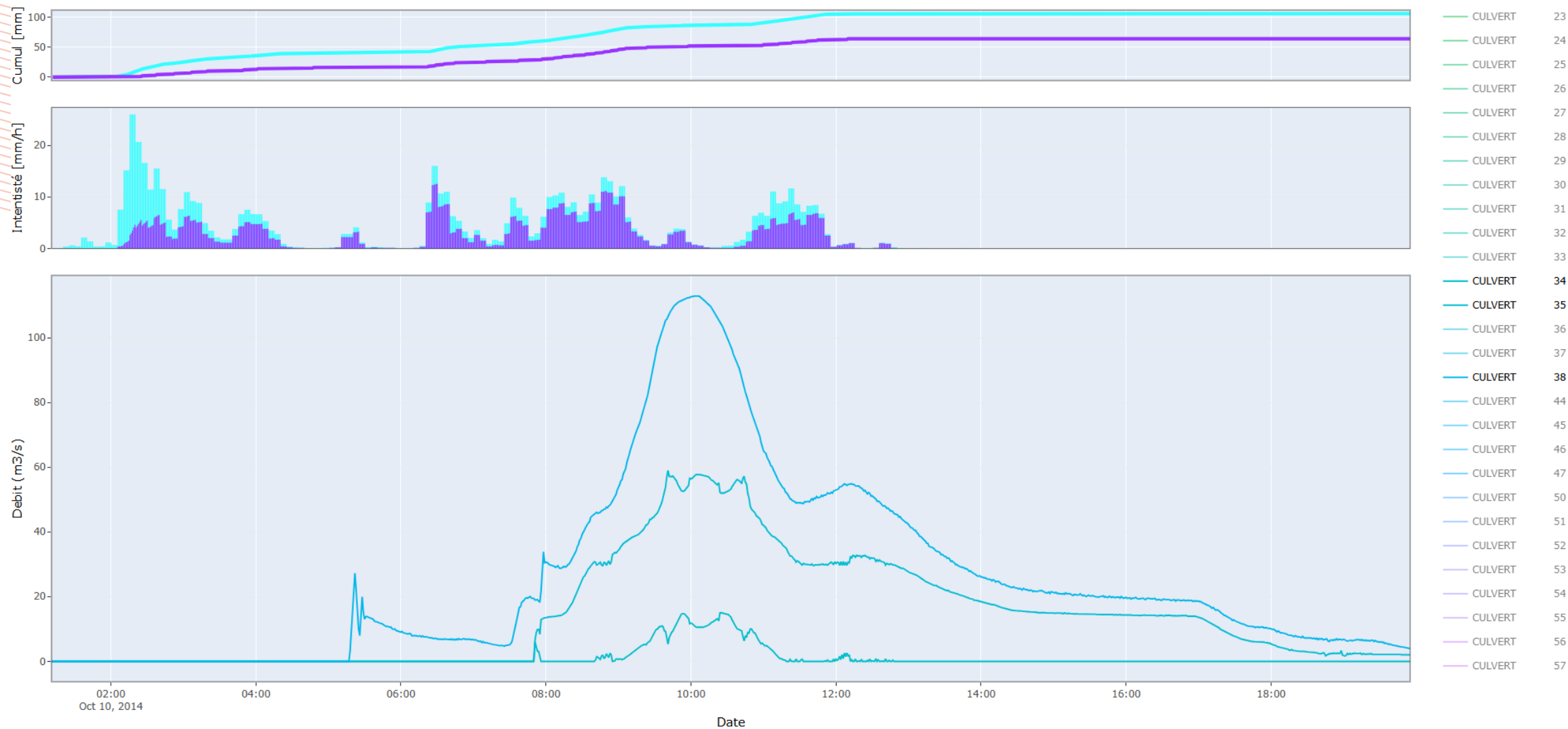
# CADEREAU D'ALES OCTOBRE 2014 (MÉTHODE TELEMAC)

Hyéto + Q OH C38\_073342km\_X807909Y6305489\_Evts201410100110\_12h50min\_AMC2 (Pluie sur tout le bassin)



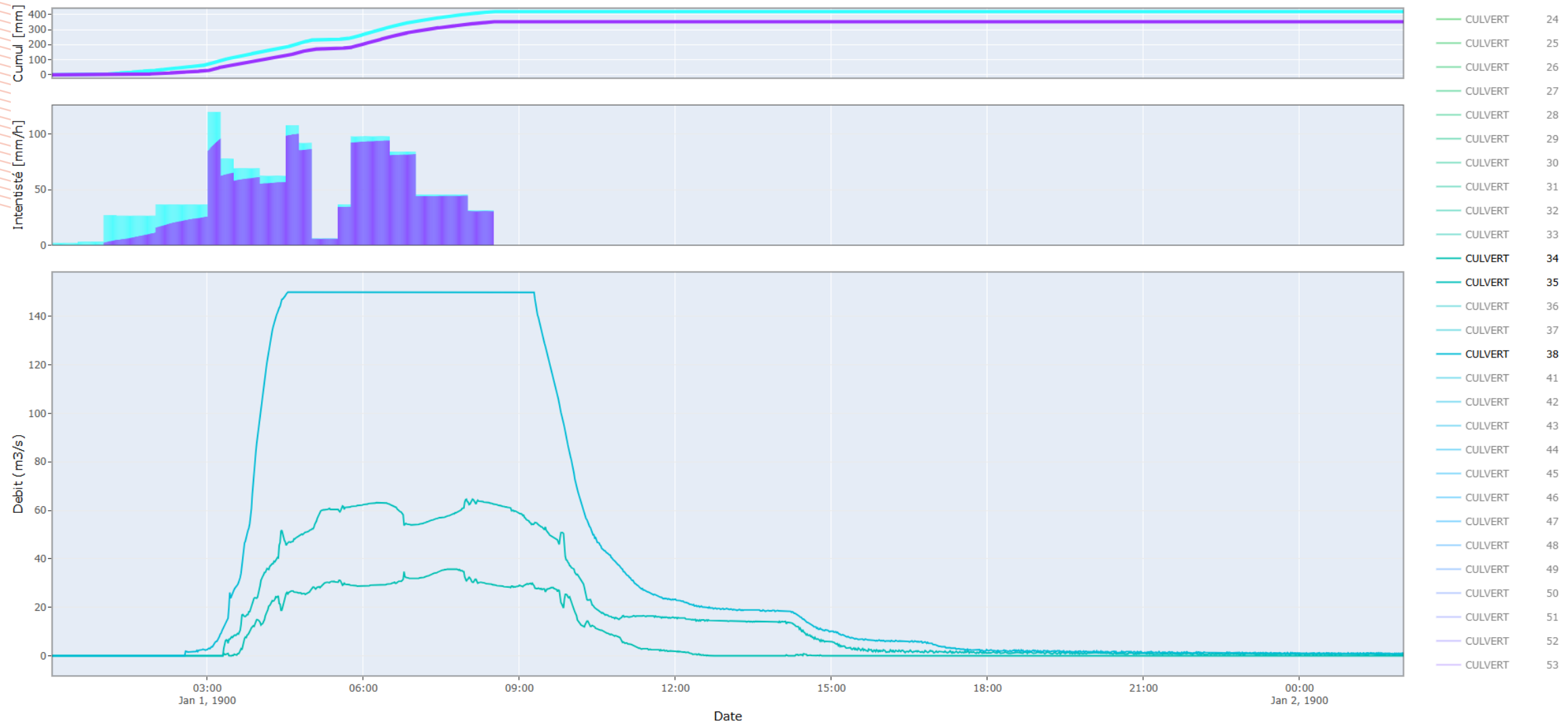
# CADEREAU D'ALES OCTOBRE 2014 (ABAQUES)

Hyéto + Q OH C38\_073342km\_X807909Y6305489\_Evts201410100110\_12h50min\_AMC2 (Pluie sur tout le bassin)



# CADEREAU D'ALES SCÉNARIO 1988 (ABAQUES)

Hyéto + Q OH C38\_073342km\_X807909Y6305489\_SceP1988c\_00h\_00m (Pluie sur tout le bassin)



# La convention R&D

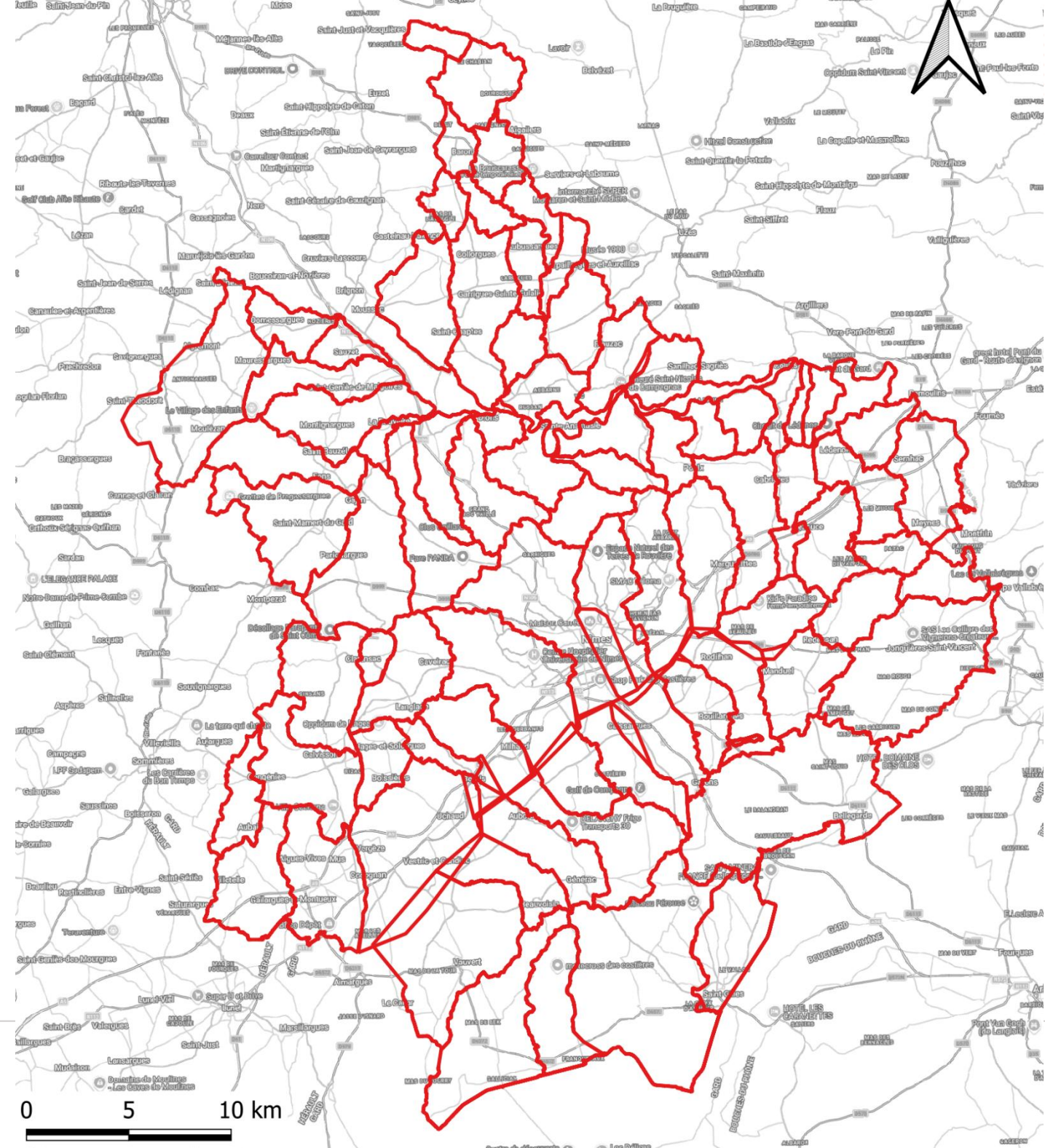


Établir un atlas homogène des aléas inondation des cours d'eau non jaugés affluents du Vistre, Rhône et du canal du Rhône à Sète...



# ZONE D'ÉTUDE

- Surface de **1700 km<sup>2</sup>**
- Découpée en **83** sous-bassins versants hydrauliquement cohérents
- Surface des sbv de 2km<sup>2</sup> à 56 km<sup>2</sup>
- **Cartographie du ruissellement** : performante en tête de bassin et petits cours d'eau, mais non adaptée aux lits majeurs des grands cours d'eau (Plaine du Vistre).

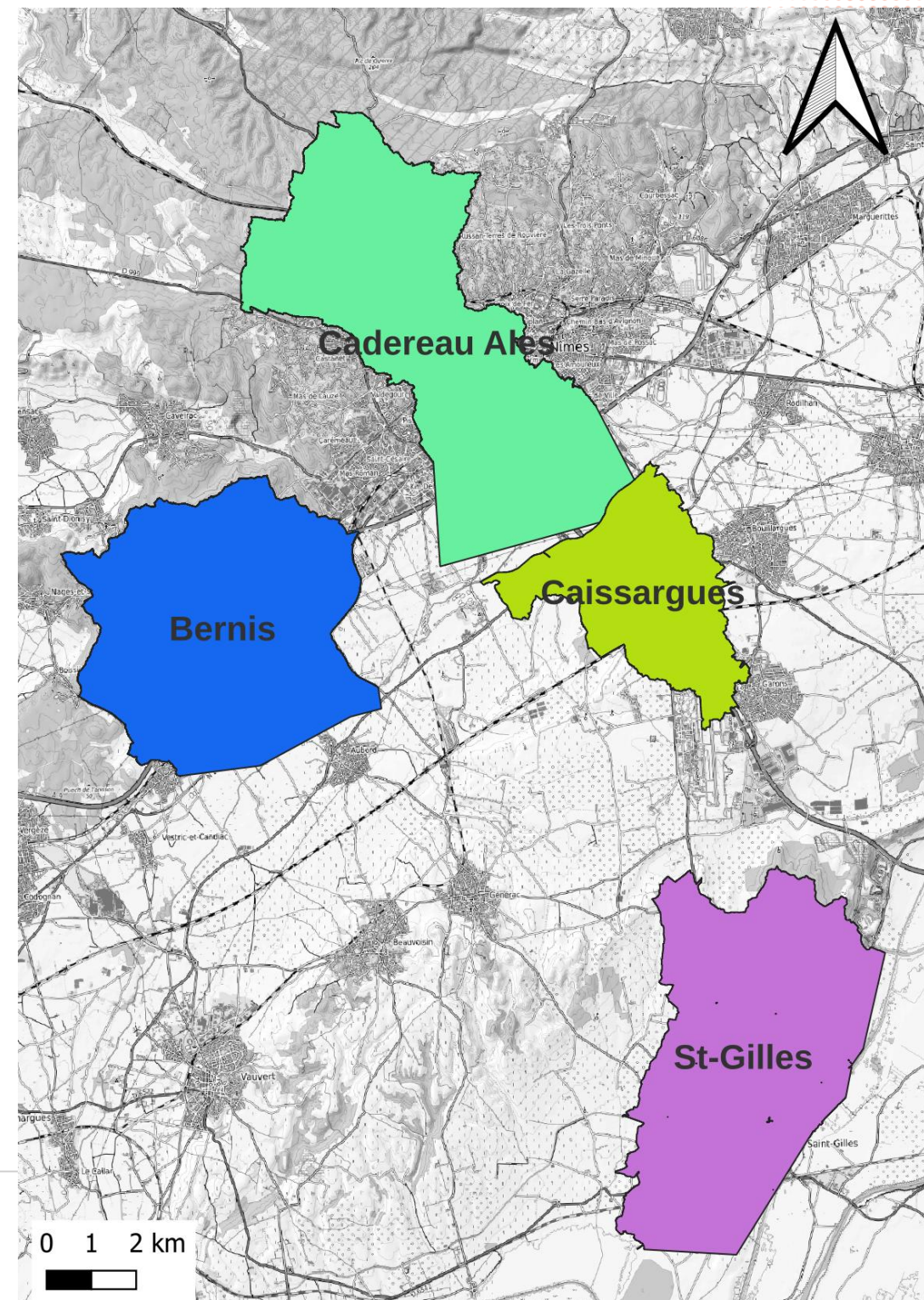


# 4 SECTEURS TESTS

- Cadereau d'Alès : événement d'octobre 2014
- Saint Gilles : événement de juin 2016
- Bernis : événement de 2021
- Caissargues : événement de 2005

## Evaluation

- Comparaison aux repères de crues
- Comparaison des débits simulés aux débits observés ou issus d'études récentes
- Comparaison aux données d'interventions du SDIS (dynamique)
- **Prise en compte des ouvrages hydrauliques**
- **Sections de contrôle sur les zones d'intérêt**



# DÉFINITION DES PARAMÈTRES

## Types de sol :

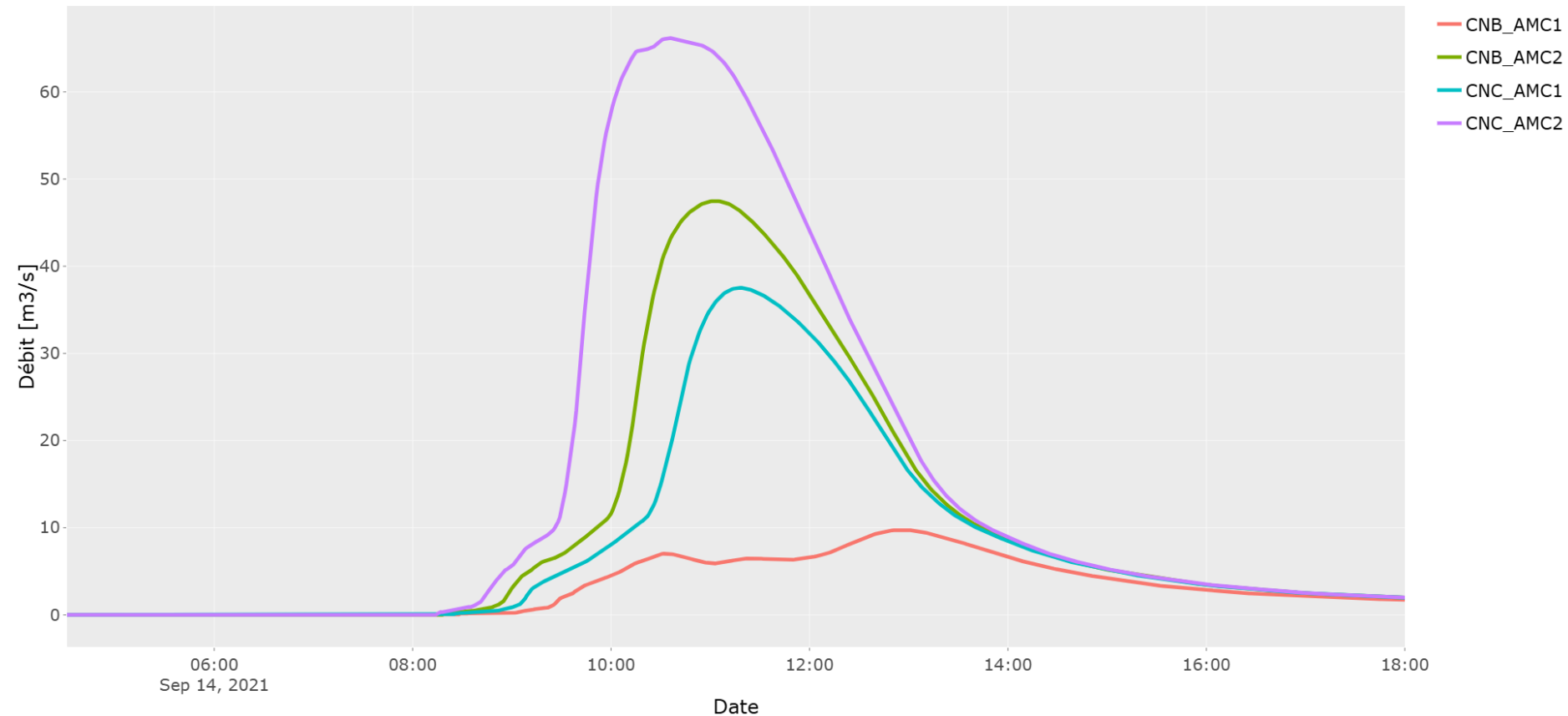
- Sable (A)
- Limon / sable fin (B)
- Argile / limon (C)
- Argile compact (D)

## Antécédent d'humidité du sol

- Sol sec (AMC1)
- Humidité normale (AMC2)
- Sol humide (AMC3)

## Méthode de production

- SCS CN



Bernis

PHE

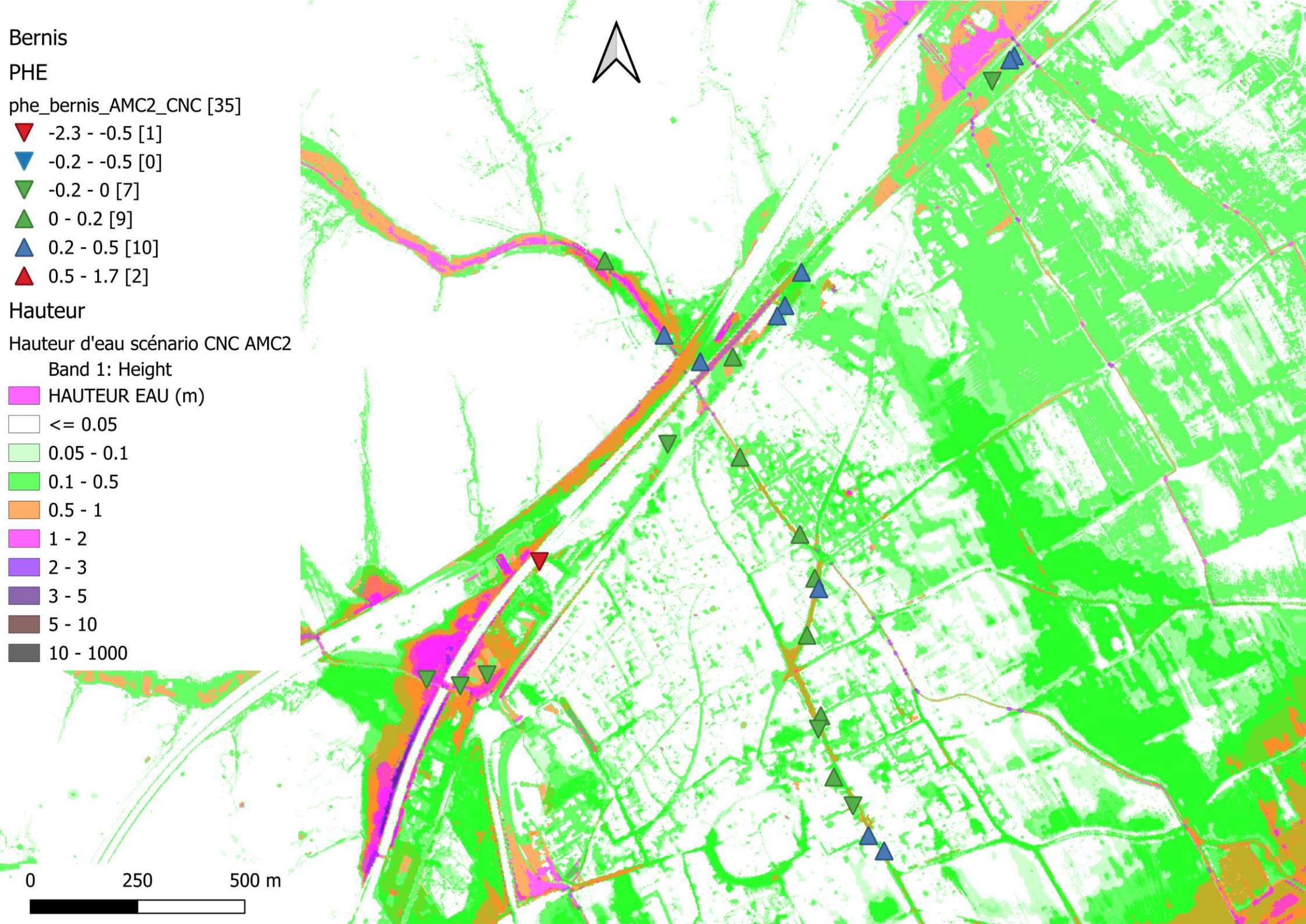
phe\_bernis\_AMC2\_CNC [35]

- ▼ -2.3 - -0.5 [1]
- ▼ -0.2 - -0.5 [0]
- ▼ -0.2 - 0 [7]
- ▲ 0 - 0.2 [9]
- ▲ 0.2 - 0.5 [10]
- ▲ 0.5 - 1.7 [2]

Hauteur

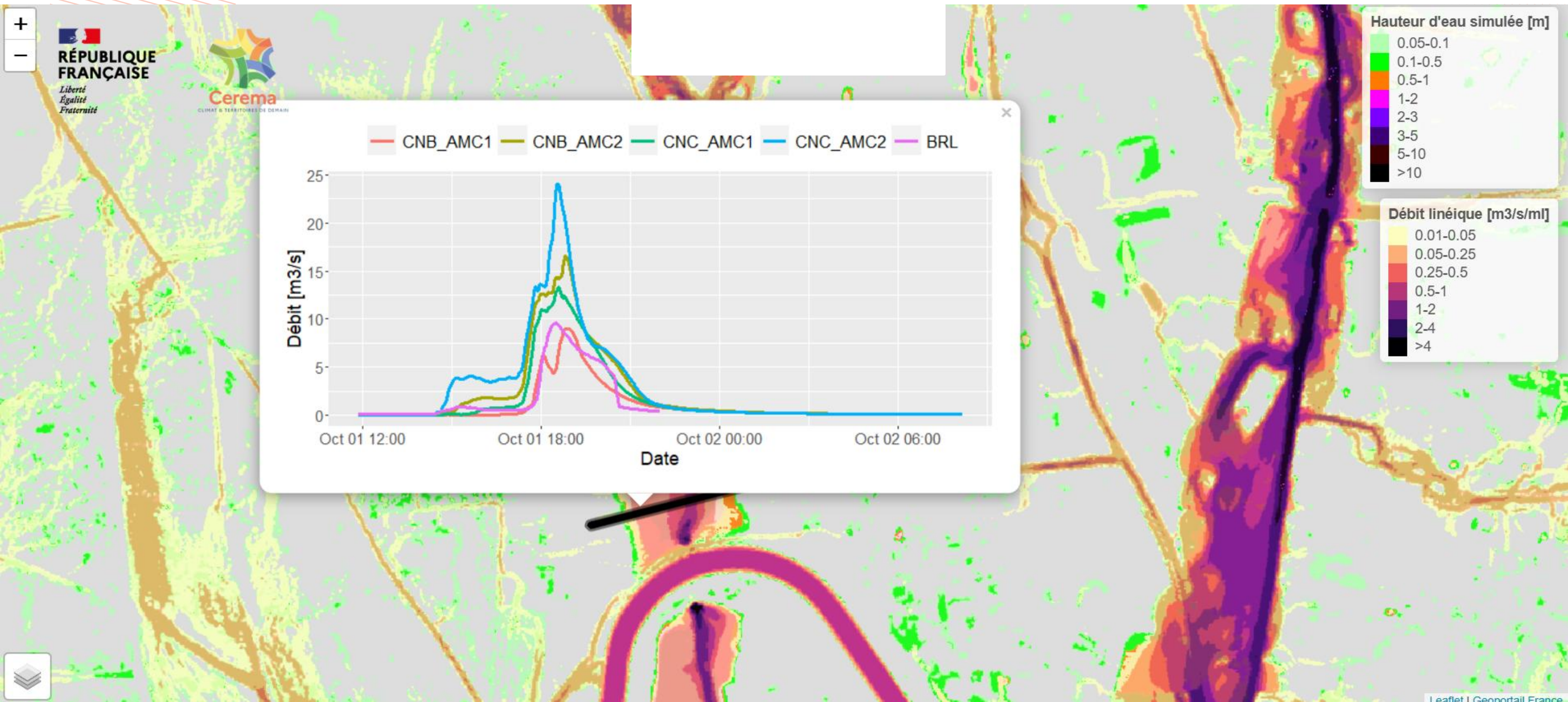
Hauteur d'eau scénario CNC AMC2

- Band 1: Height
- HAUTEUR EAU (m)
  - ≤ 0.05
  - 0.05 - 0.1
  - 0.1 - 0.5
  - 0.5 - 1
  - 1 - 2
  - 2 - 3
  - 3 - 5
  - 5 - 10
  - 10 - 1000

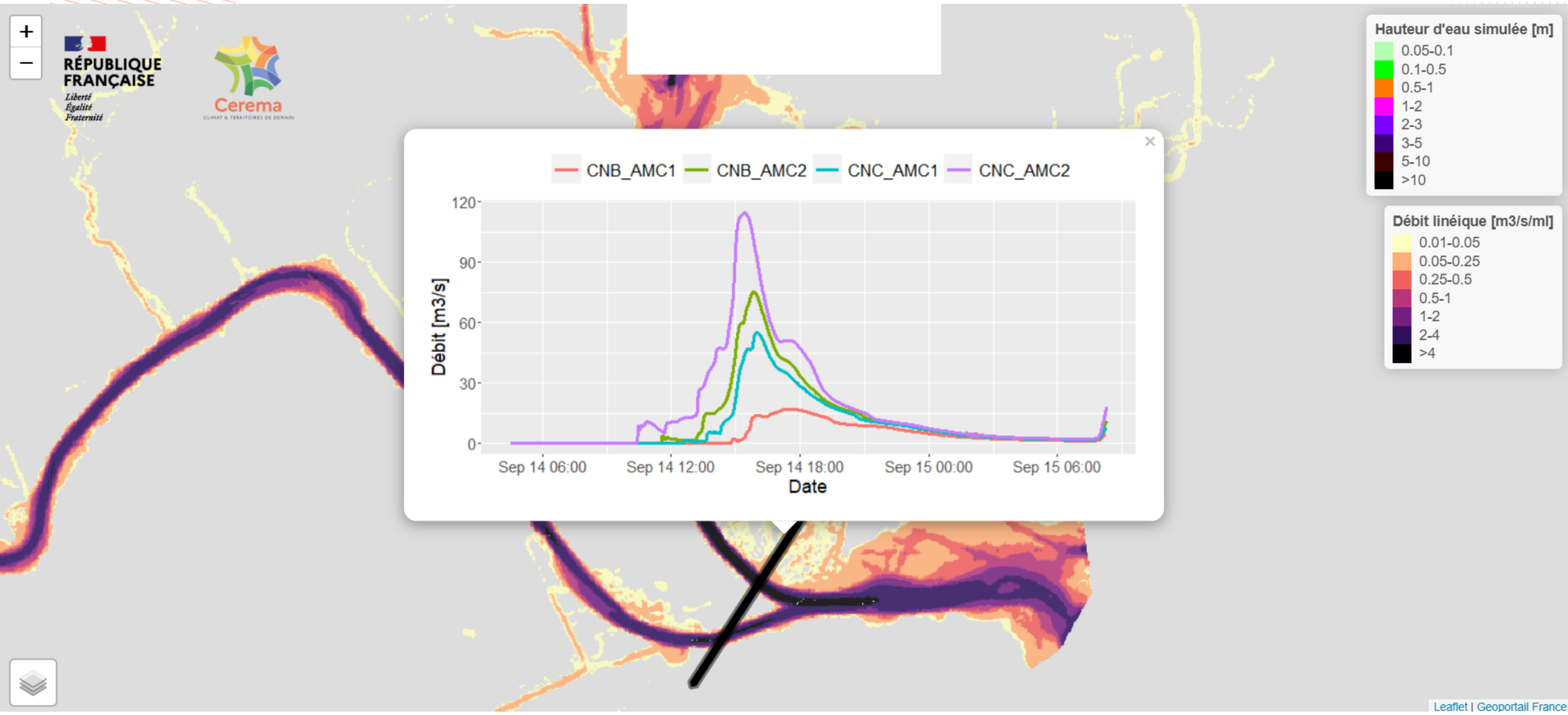


➤ Scénario CNC AMC2 donne les meilleurs résultats pour les 4 cas test

# COMPARAISON À DES CALCULS RÉCENTS



# DÉBIT À L'ENTONNEMENT DU CADEREAU D'ALÈS



+

-

RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

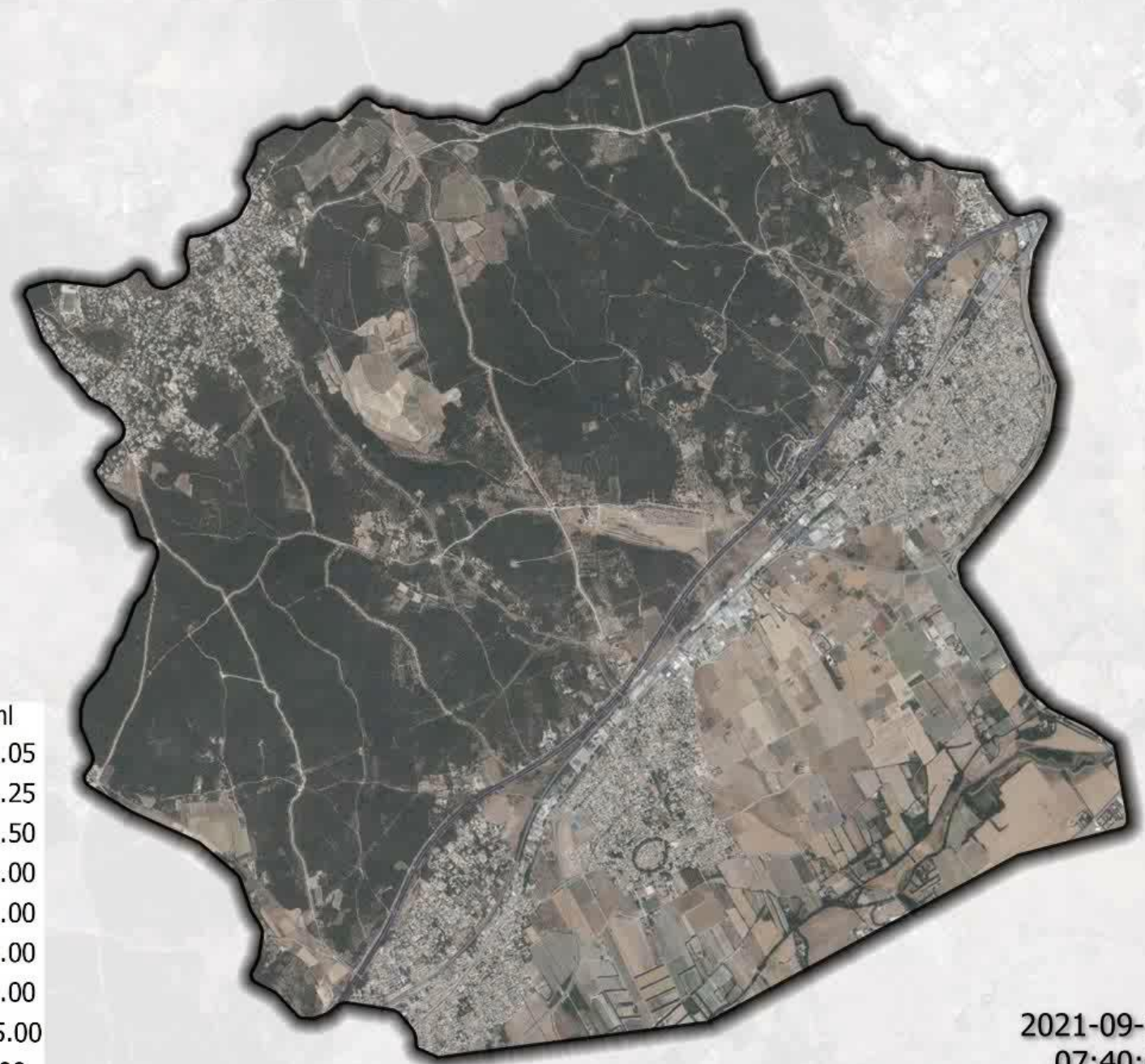
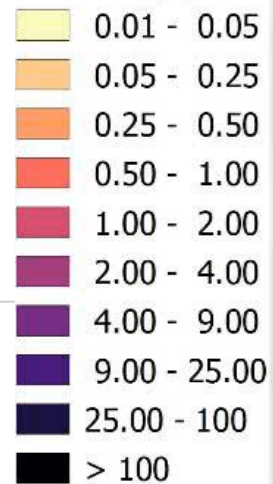
Cerema  
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

# REJEU BERNIS

- Comparaisons avec des éléments terrain : interventions SDIS 30

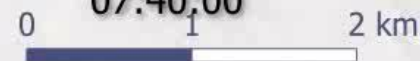


DEBIT m3/s/ml

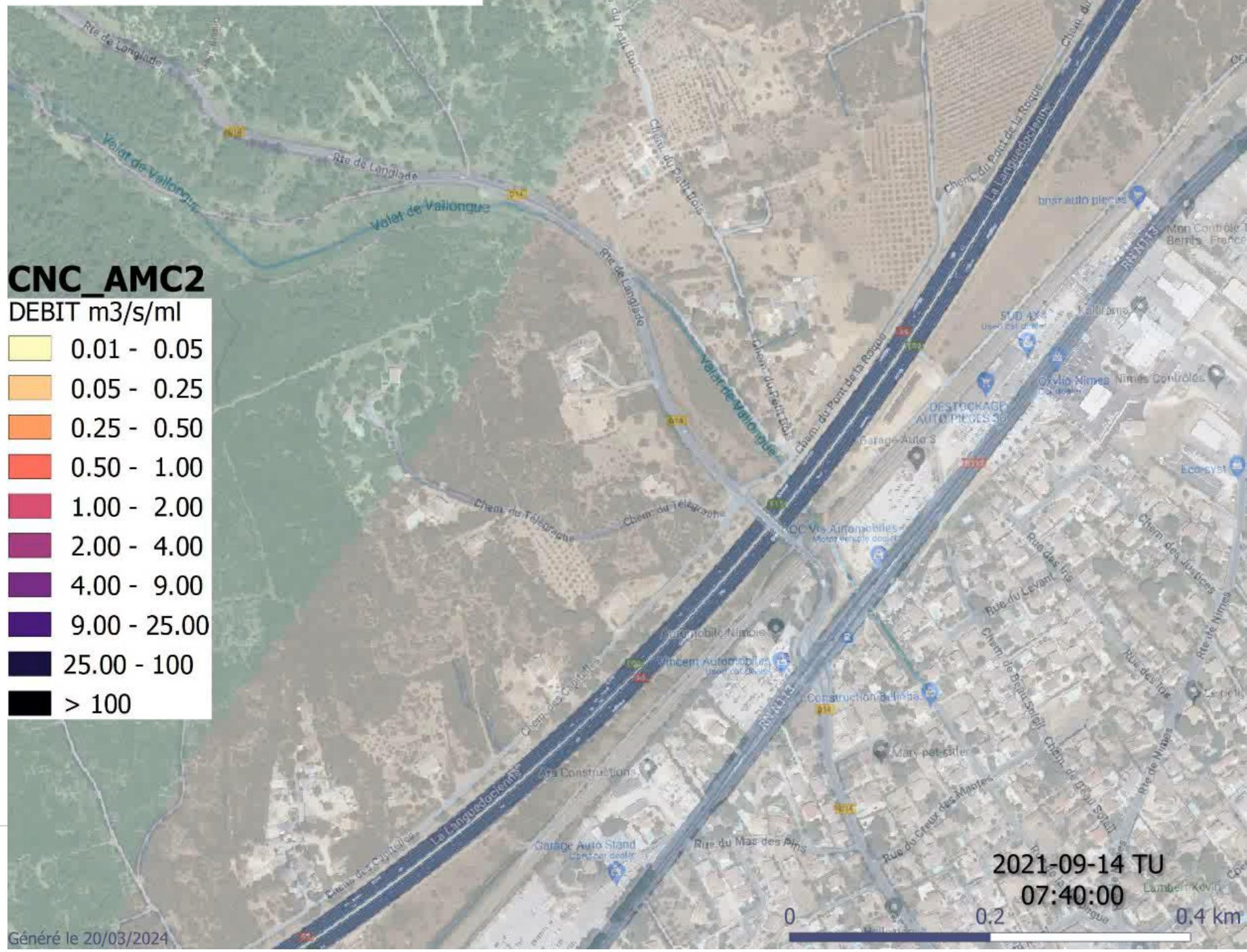


2021-09-14 TU

07:40:00

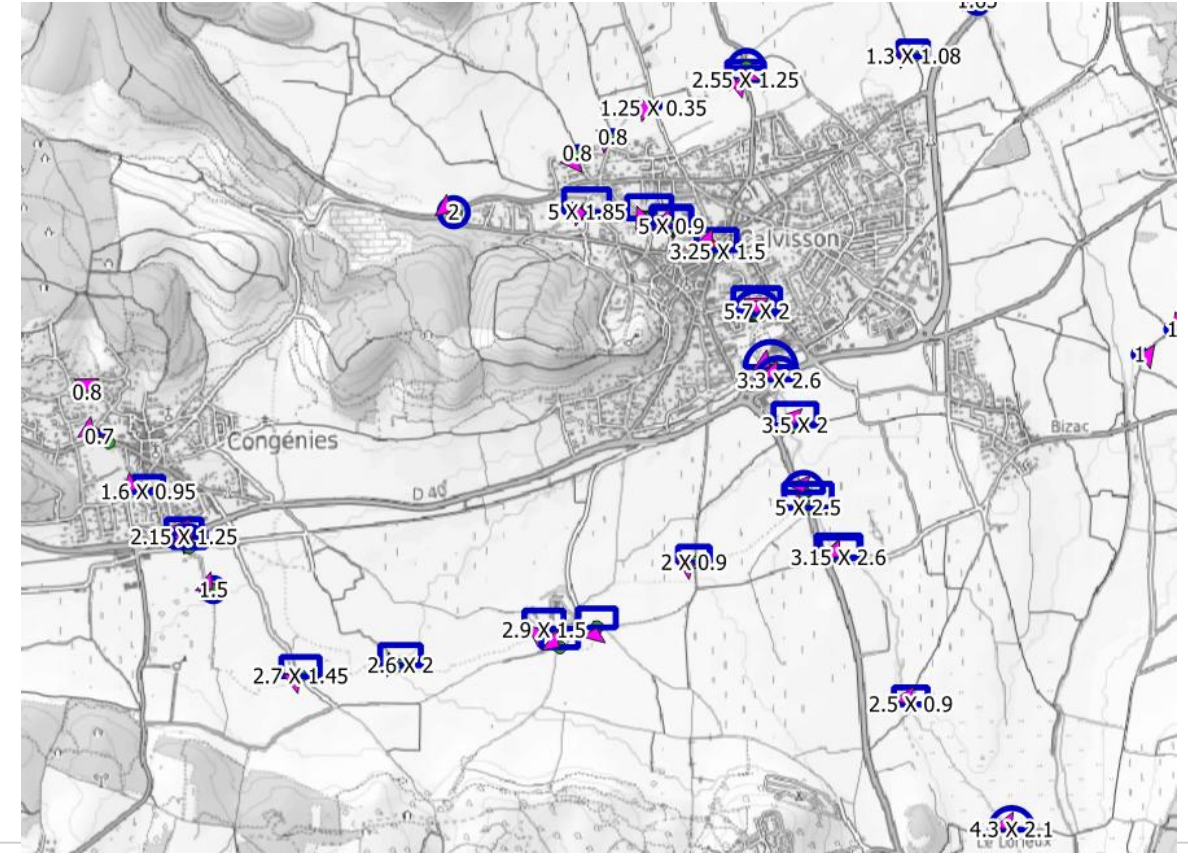


# ZOOM SUR L'AUTOROUTE



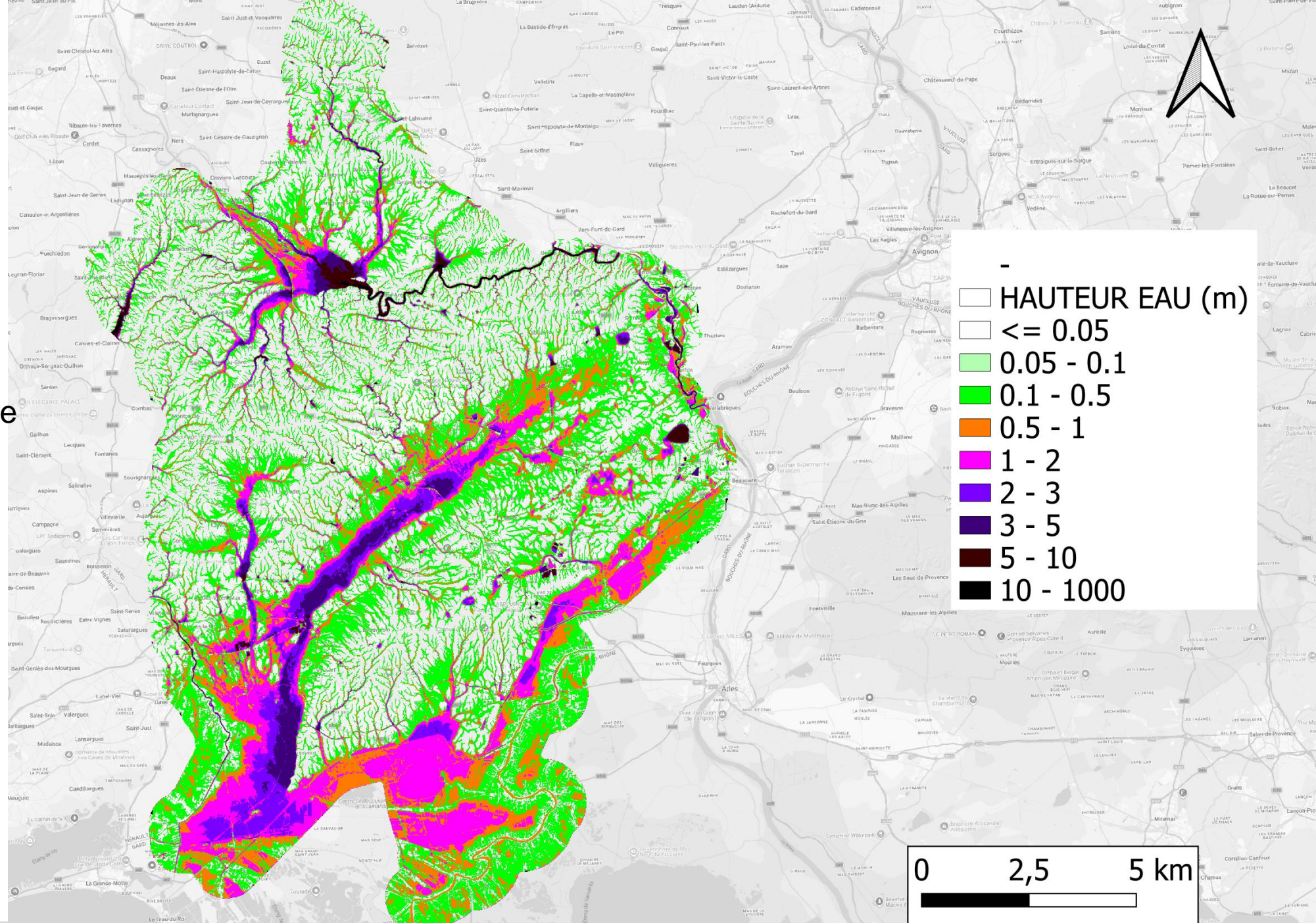
# PARAMÈTRES RETENUS POUR L'ENSEMBLE DES SCÉNARIOS

- Scénario d'humidité et de sol retenu : AMC2 et CNC
- 100 Sections de contrôle et plus de 1000 ouvrages hydrauliques

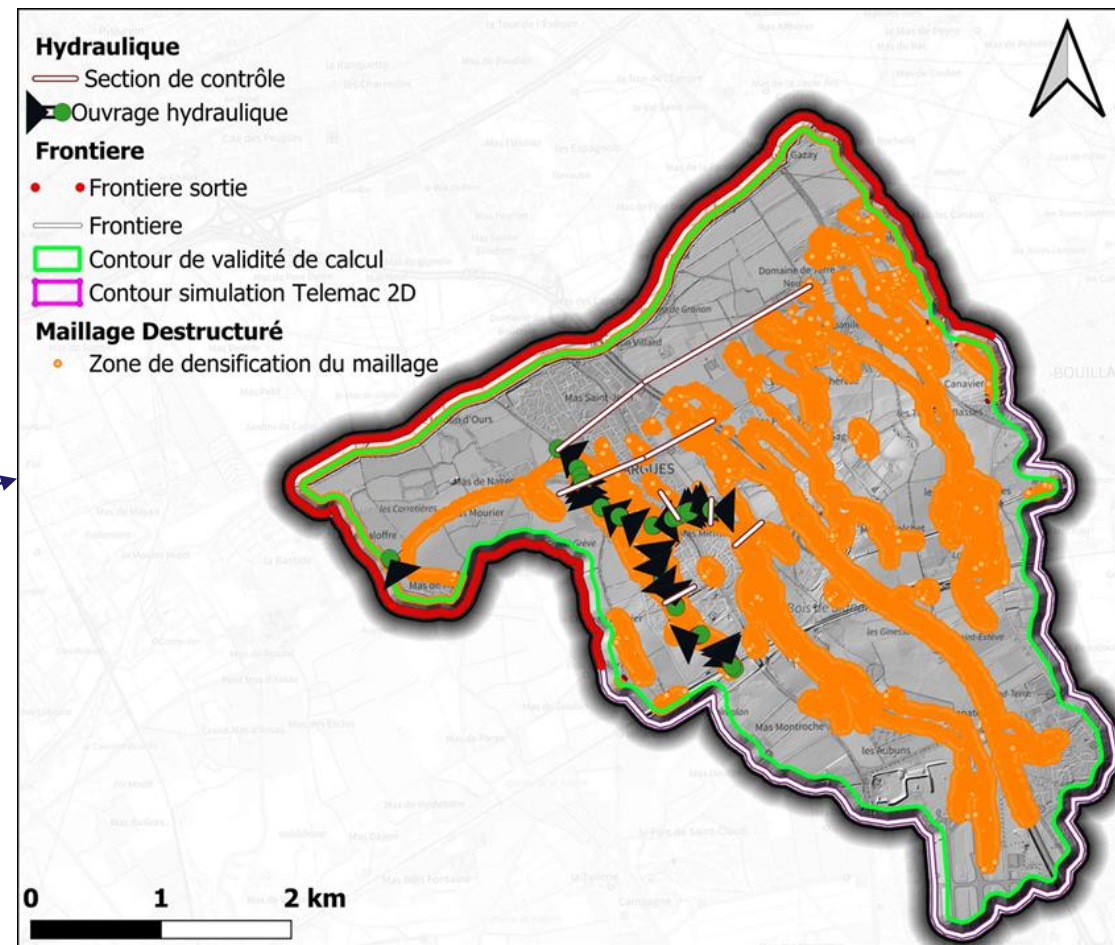
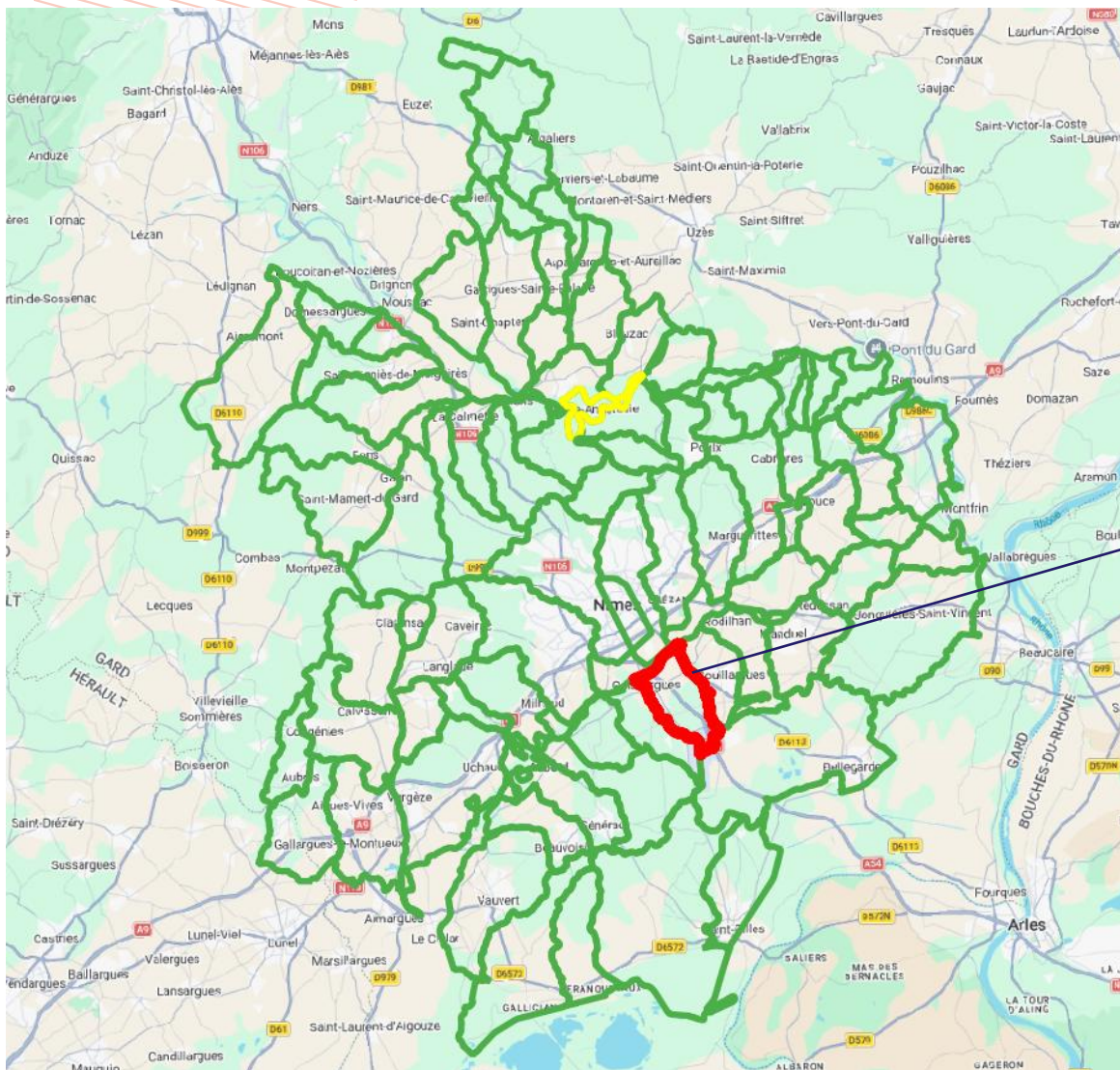


# CALCUL 25 M

- Calcul rapide avec un scénario maximisant
- Objectifs :
  - Sectorisation
  - enveloppe pour un maillage déstructuré

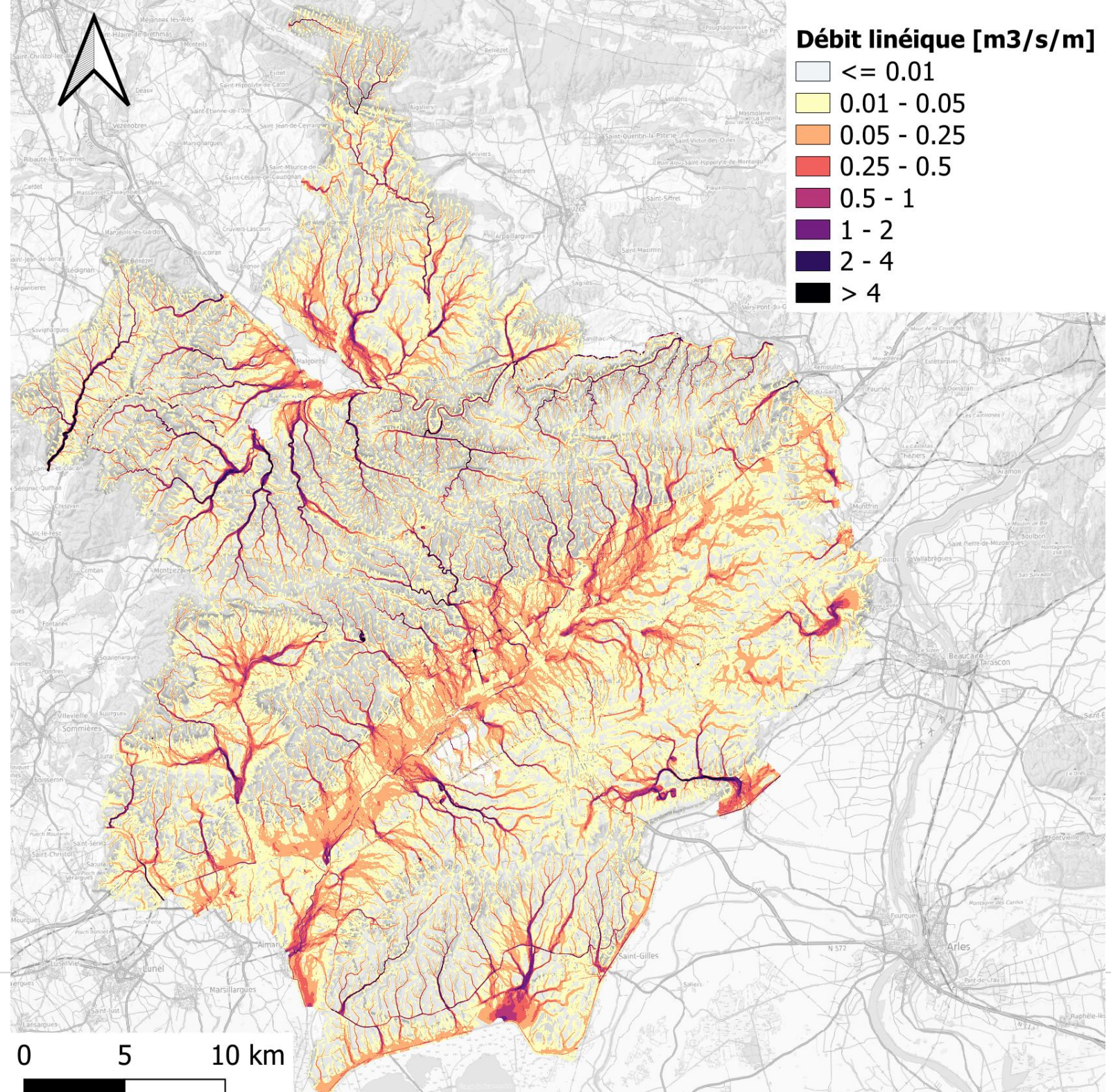


# DÉCOUPAGE EN SOUS-SECTEURS



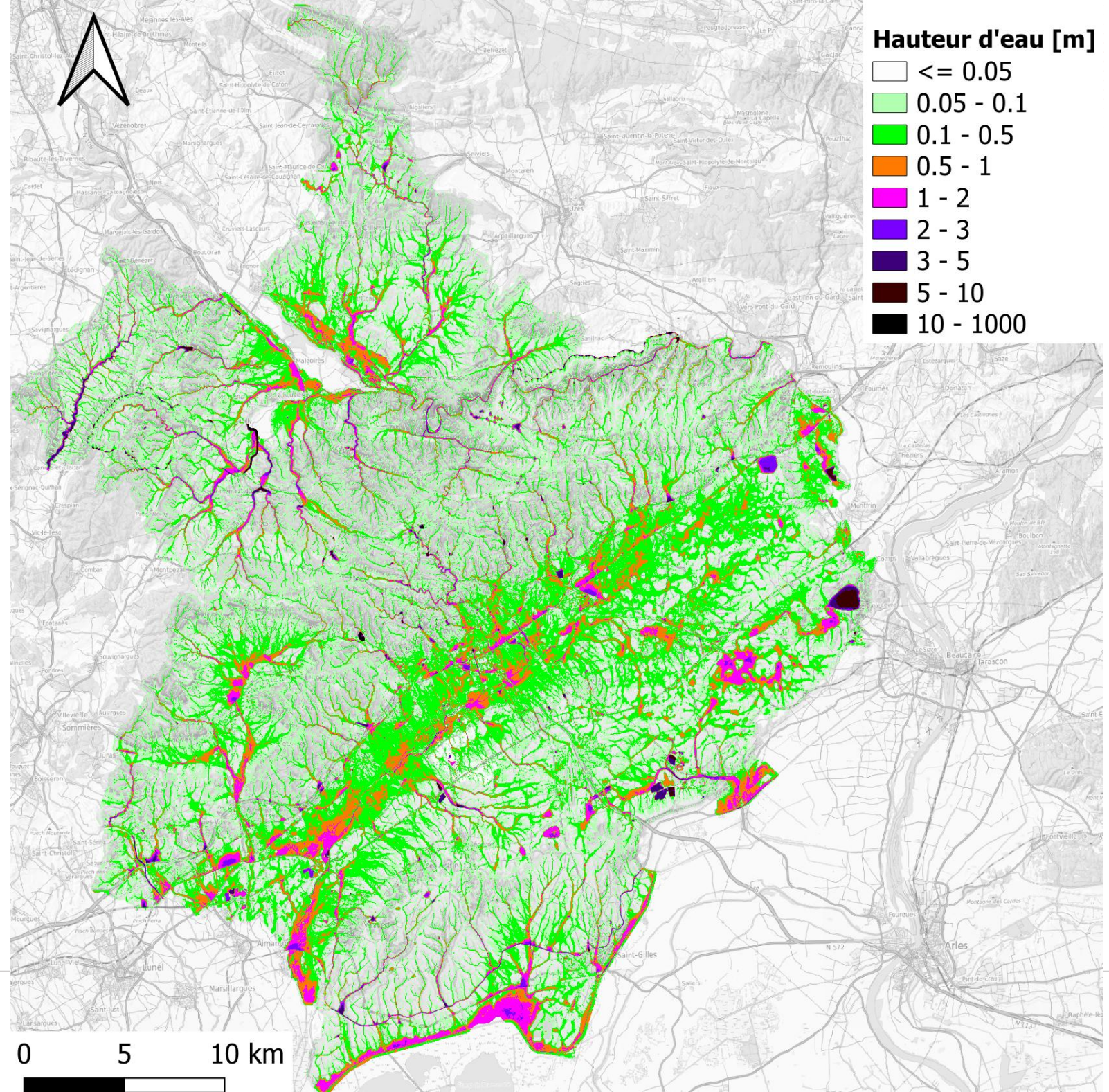
# CALCUL SCÉNARIO PLUIE 1988

Fusion des résultats de la  
variable débit linéique sur  
les 83 sbv

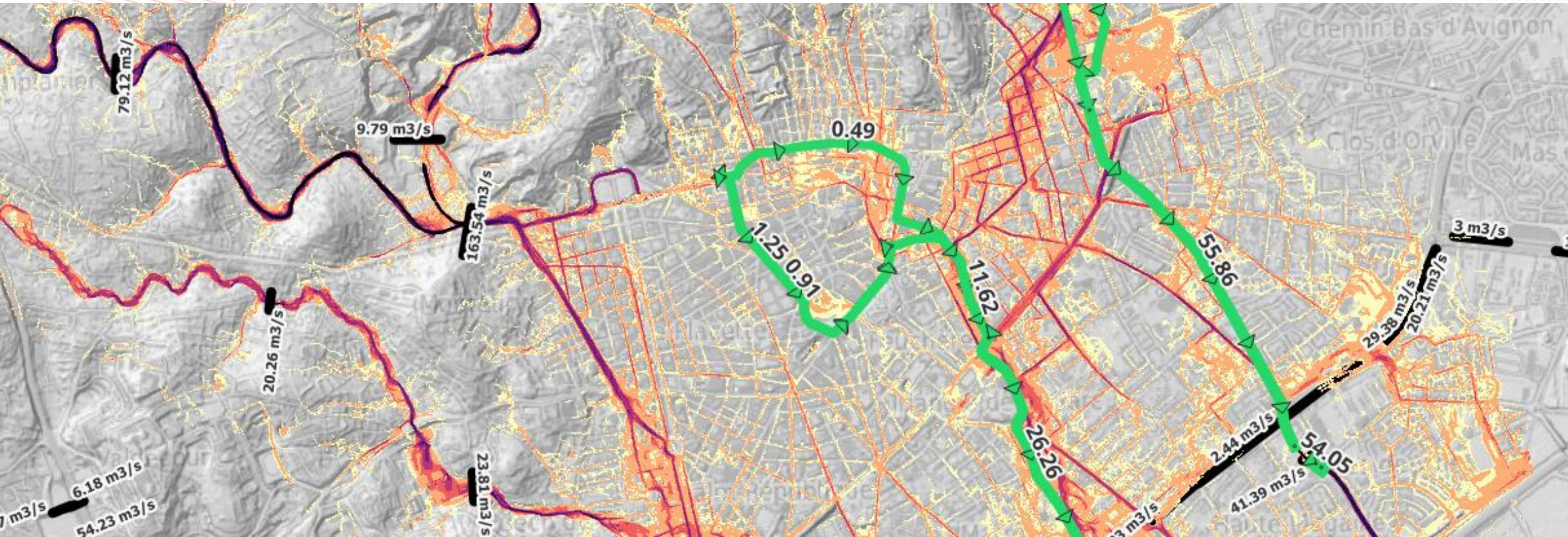


# CALCUL SCÉNARIO PLUIE 1988

Fusion des résultats de la  
variable hauteur d'eau sur  
les 83 sbv

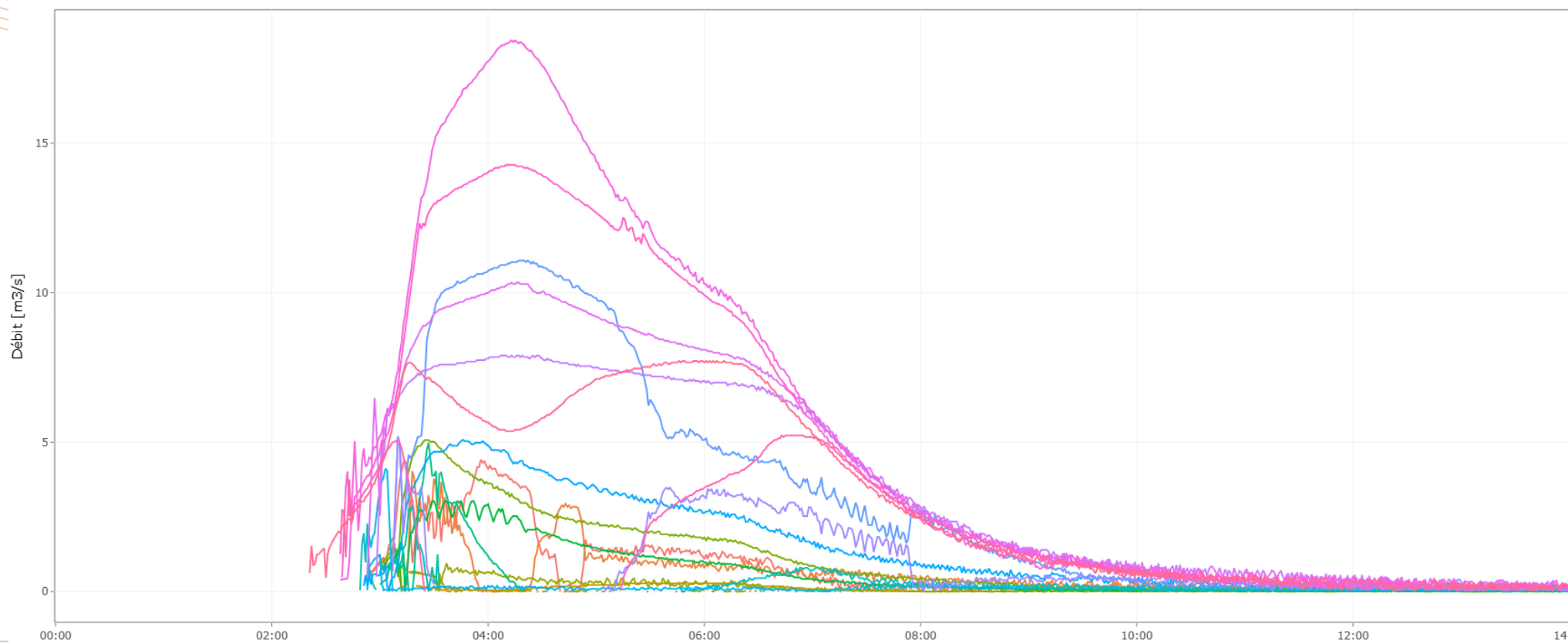
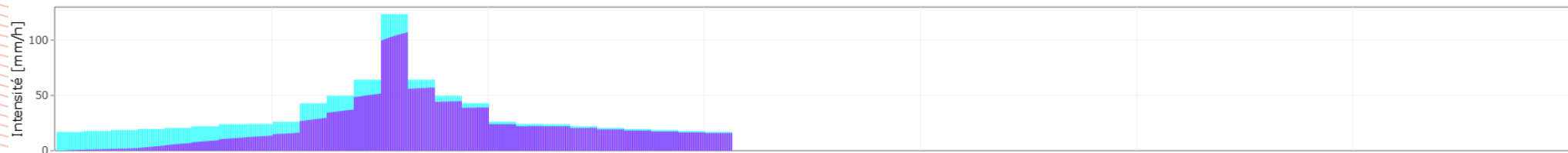
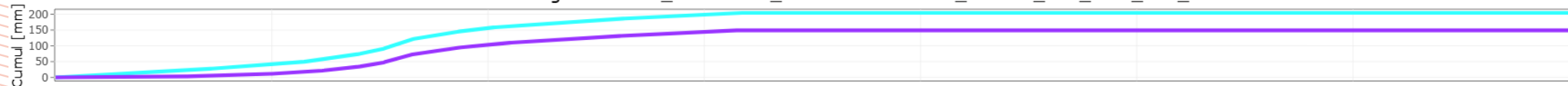


# EXEMPLE DE CARTE LOCALE



# HYDROGRAMME DANS LES OH

Ouvrages - CUU10\_/26348km\_X814696Y63U1195\_SceP4U\_U0h\_U0m\_14h\_U0mSC

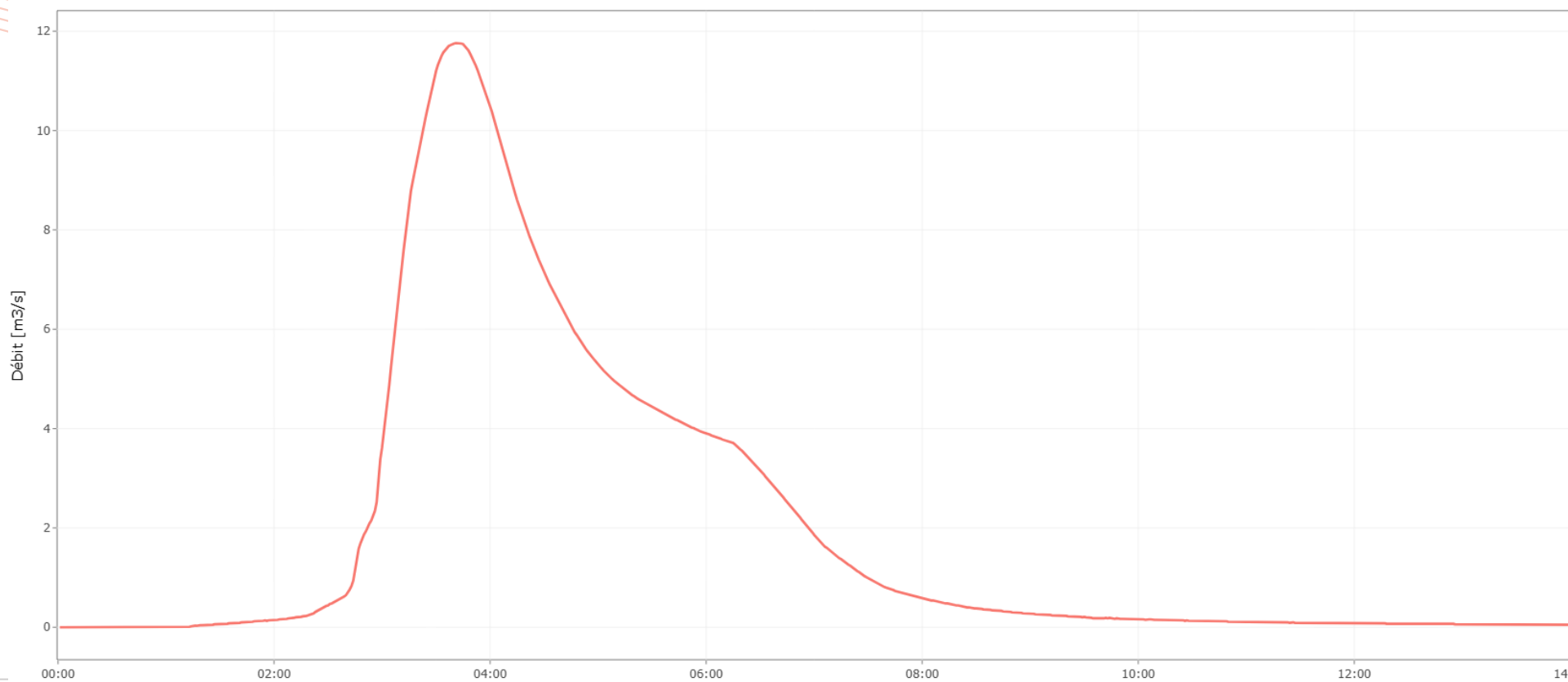
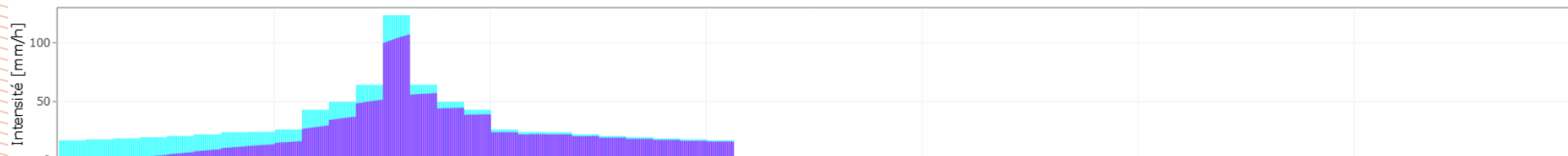


- Cumul brut
- Cumul net
- Pluie brute
- Pluie nette
- BOUIL\_D257\_1a
- BOUIL\_D257\_1b
- Buf\_20a
- Buf\_21
- GARO\_LGV\_02a
- GARO\_LGV\_02b
- GARO\_LGV\_03a
- GARO\_LGV\_03b
- GARO\_LGV\_05a
- GARO\_LGV\_05b
- GARO\_LGV\_06a
- GARO\_LGV\_06b
- Mic\_01
- Mic\_02
- Mic\_03
- Mic\_04
- Mic\_08a
- Mic\_08b
- Mic\_09
- Mic\_10
- Mic\_11
- Mic\_12
- Mic\_13
- Mic\_14

00:00 Jan 1, 1900 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00 Date (heure météo)

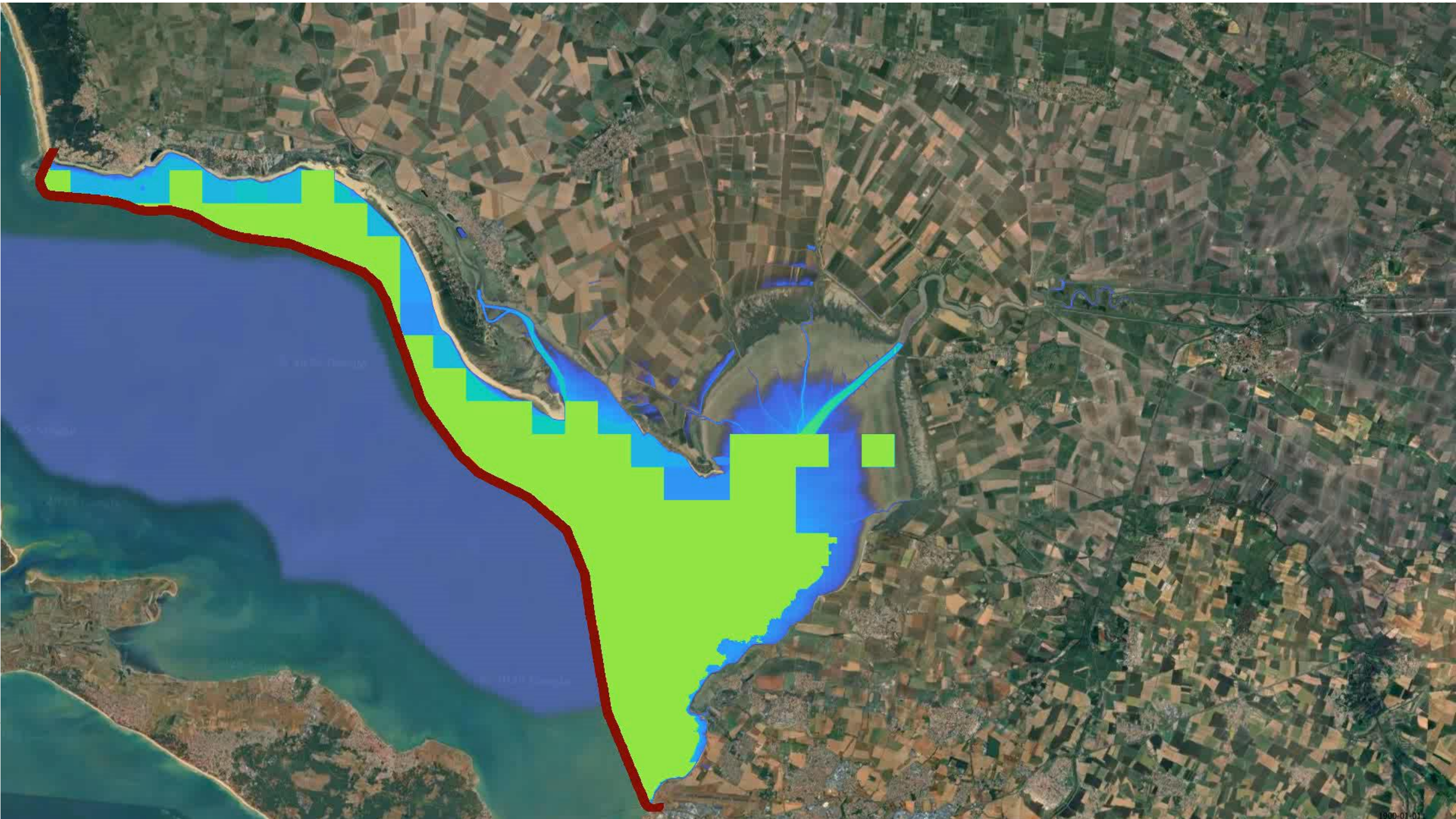
# HYDROGRAMME SUR SECTION DE CONTRÔLE

Hyeto + Hydrogramme CUU1U\_/26348km\_X814696Y6301195\_SceP40\_UUh\_UUm\_14h\_UUmSC (Pluie sur tout le bassin)

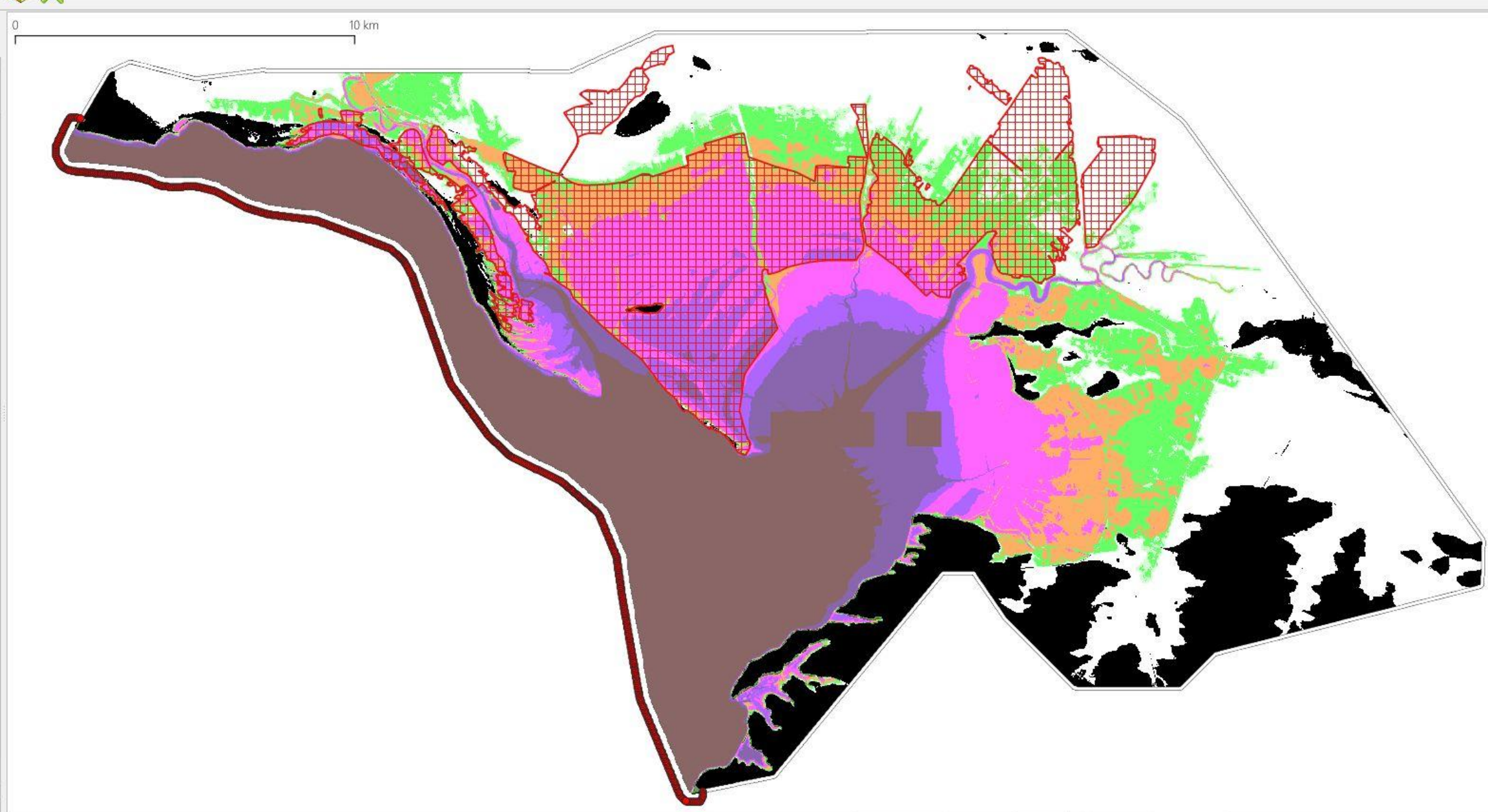


- Cumul brut
- Cumul net
- Pluie brute
- Pluie nette
- Bouillargues\_Grand-Michel\_D346

00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00  
Jan 1, 1900 Date (heure météo)



- Couches
- FrontiereSortie**
  - Frontiere**
  - Step\_Cartino2d\_2\_Valid\_Calcul copie
  - Step\_Cartino2d\_1\_Contour
  - r\_submersion\_xynthia\_s\_r52
  - Gestion\_Aval\_Debit
  - Aval
  - group2
  - hyeto\_C0474\_411819km\_X379700Y658
    - Bande 1: Height
    - HAUTEUR EAU (m)
    - <= 0.05
    - 0.05 - 0.1
    - 0.1 - 0.5
    - 0.5 - 1
    - 1 - 2
    - 2 - 3
    - 3 - 5
    - 5 - 10
    - 10 - 1000
  - hyeto\_C0474\_411819km\_X379700Y658
  - hyeto\_C0474\_411819km\_X379700Y658
  - hyeto\_C0474\_411819km\_X379700Y658
  - hyeto\_C0474\_411819km\_X379700Y658
  - sub-group1
  - Maillage\_Destructuré
  - group1
    - VRT
    - CN
    - Friction
    - MNT
    - MNTFinal
    - MNTFinal copie**
    - MNTFinal copie copie**
      - Bande 1: Height
      - 4.508
      - 4.507
    - OSM Standard
    - Carte géologique image de la France a
    - Ortho2020\_3M



# NOS PARTENAIRES



Direction Générale de la Prévention des Risques



Subvention ANR-17-CE03-0011



Subvention ANR-21-CE04-0021-01



Risques sous haute surveillance



**Merci pour votre attention**

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

