

Modélisation en hydrologie

Application à l'alerte en temps réel du risque de crue en
zone méditerranéenne

Pierre Javelle

Journées « modélisation en environnement »

22-26 février 2010

An abstract graphic on the left side of the slide. It features several thin, grey, curved lines that intersect. A small orange triangle points to the right at the top. A green circle is positioned at one of the intersection points. Below the circle, a blue, elongated, teardrop-shaped area is visible, possibly representing a water body or a specific location on a map.

PLAN

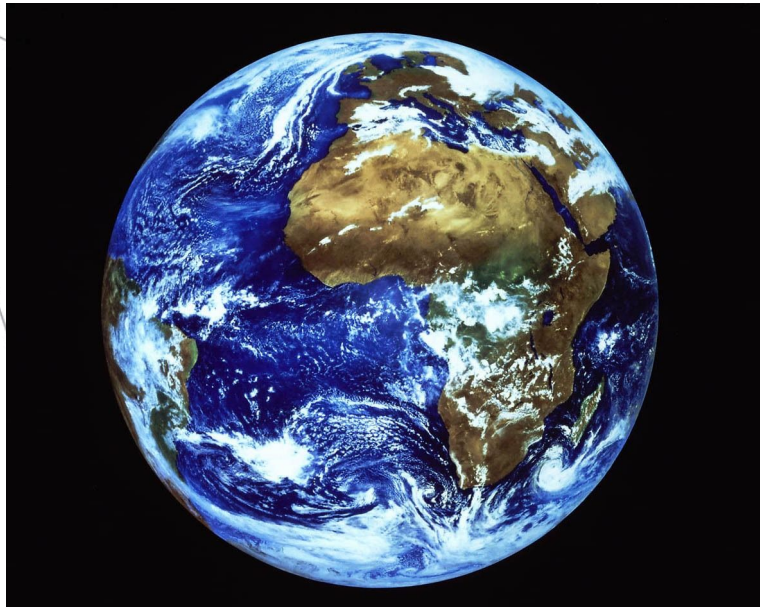
- **Notions d'hydrologie**
- **Les modèles utilisés**
- **Exemple d'application**



▶ Qu'est-ce-que l'hydrologie ?

- du grec *hudôr* : science de l'eau
- Etude de la distribution et de la circulation de l'eau dans la nature
- Disciplines liées : hydrométrie, hydraulique

▶ L'eau sur le globe

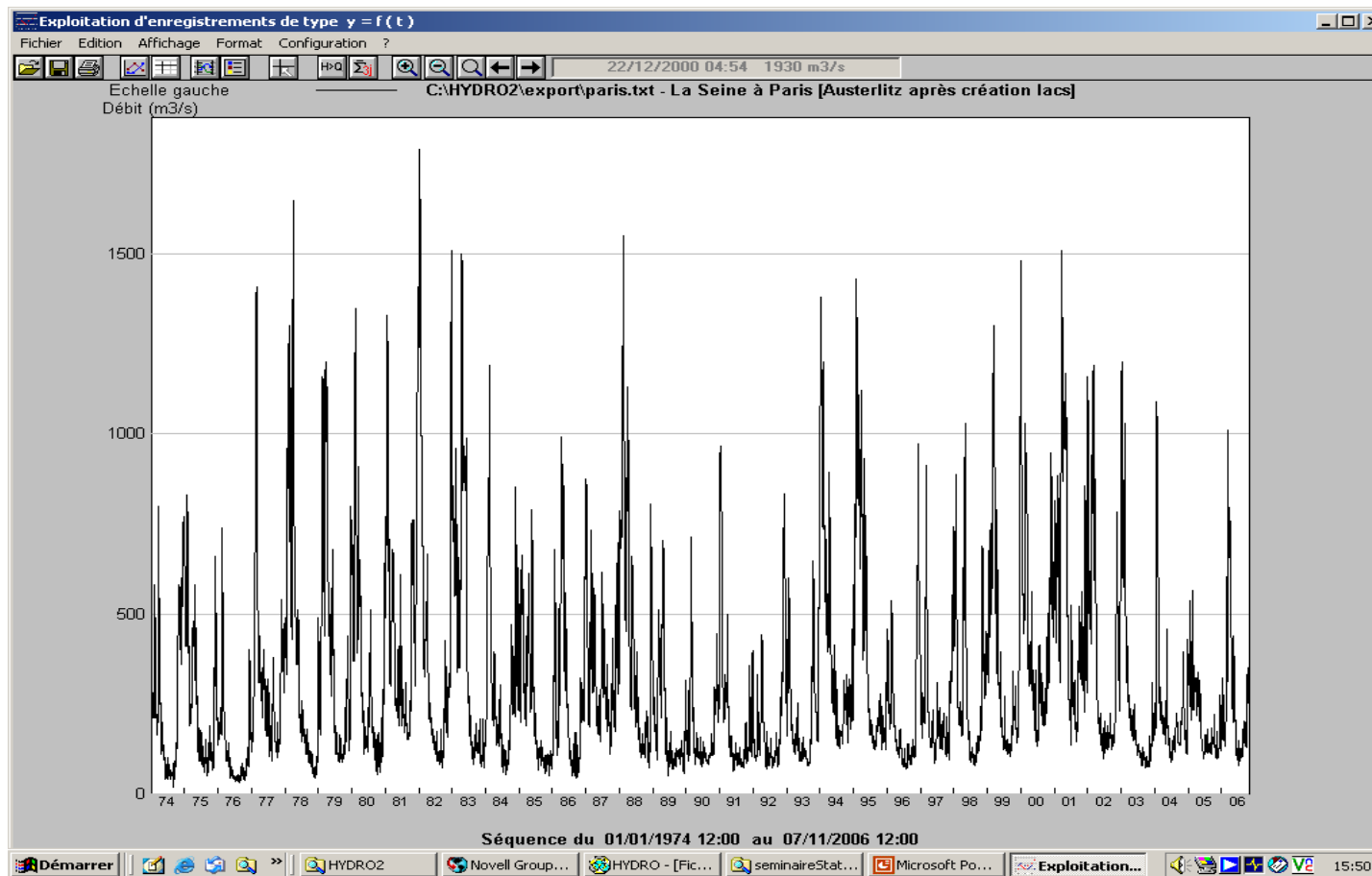
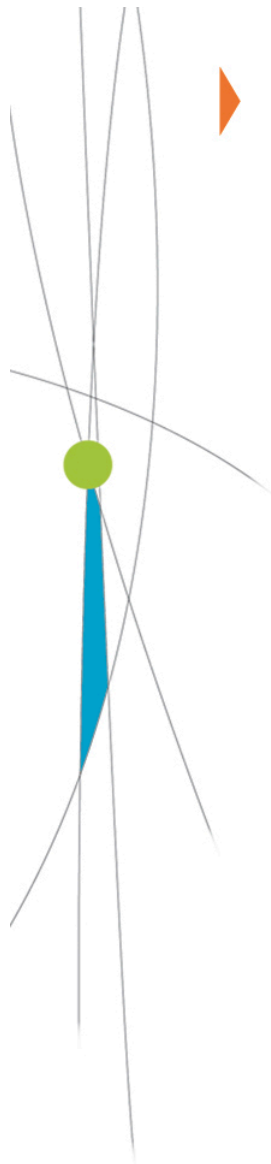


Répartition :

Océans :	96.540%
Glace et neiges :	1.740%
Sol et sous sol :	1.690%
Lacs et cours d'eau :	0.008%
Atmosphère :	0.009%

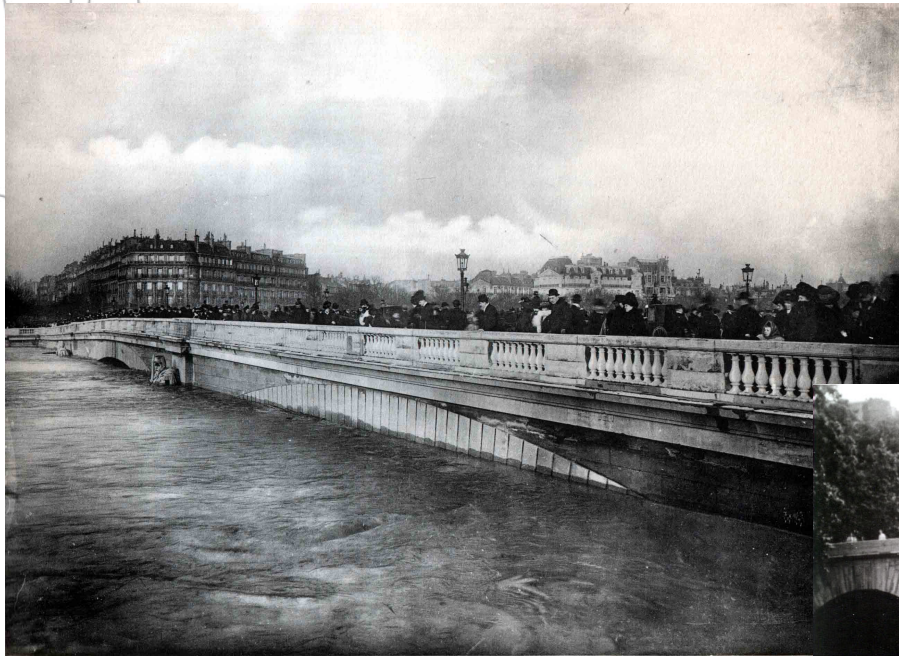
Dans la suite, on s'intéressera essentiellement aux écoulements en rivière : [hydrologie de surface](#)

► L'écoulement en rivière varie...



Débit de la Seine à Paris sur une période de 33 années

▶ Exemple de la Seine à Paris



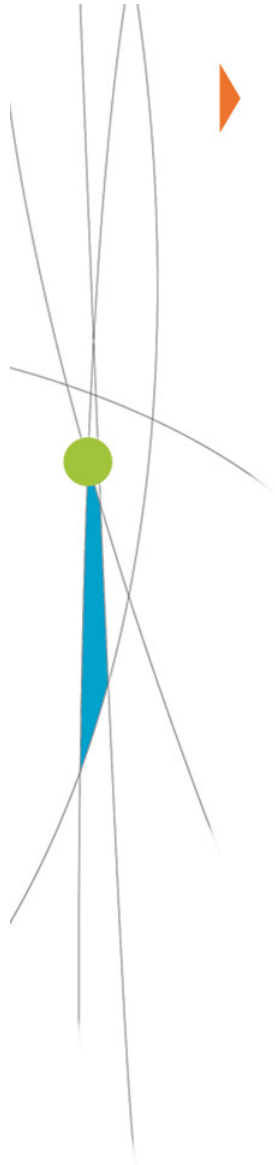
Pont de l'Alma
(La Crue à son maximum, 29 Janvier 1910)

> Crue de 1910 à Paris



Etiage de 1943 à Paris <

▶ Autre exemple...



Station du Rimbaud sur le Réal Collobrier (Cemagref)

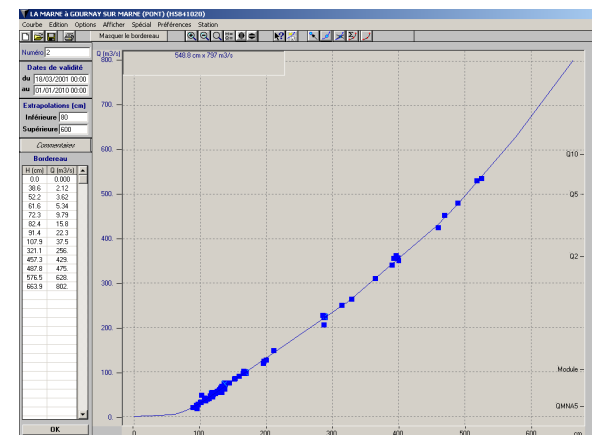
Comment connaître le débit d'une rivière ?



hauteur



jaugeages



relation hauteur-débit

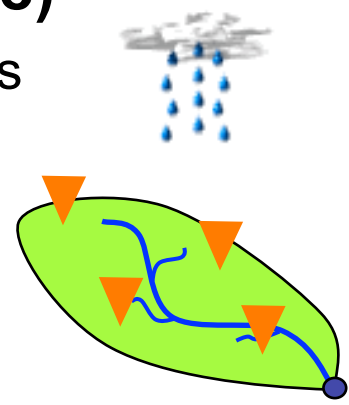
$$\text{Débit} = \text{Volume écoulé} / \text{Temps}$$

- Débit exprimés en m³/s ou l/s
- Débit spécifique exprimé en l/s/km²
- Lamme d'eau écoulée exprimée en mm

▶ Comment connaître la pluie ?

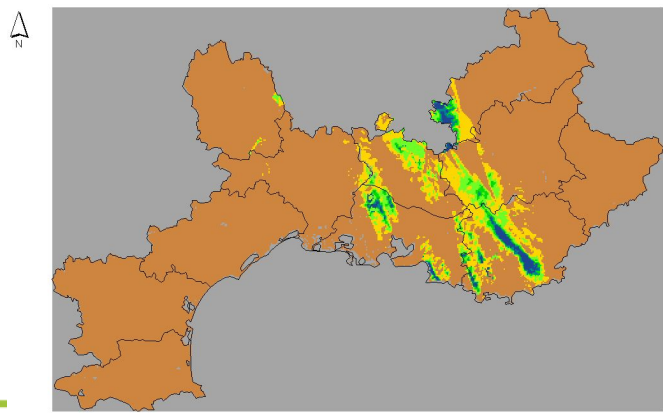
● Pluviomètres (mesure directe ponctuelle)

- Pluie de bassin estimée à l'aide de pluviomètres
- $1\text{mm} = 1\text{ litre} / \text{m}^2$



● Radar (mesure indirecte : réflectivité)

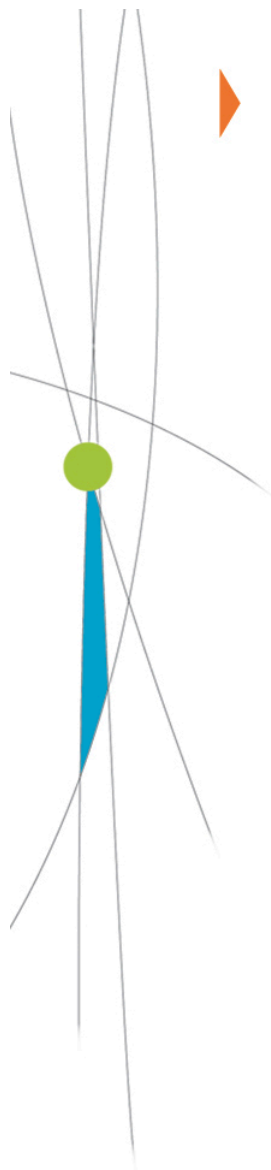
- Nécessité d'un recalage à l'aide des pluviomètres au sol



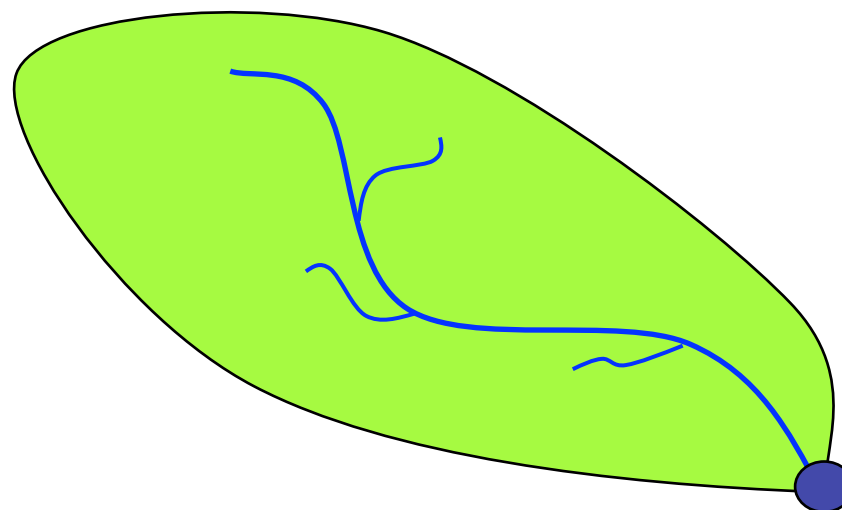
0 50 Kilomètres 02/12/2003 09:00 TU



▶ Notre objet d'étude : le bassin versant



Pluie

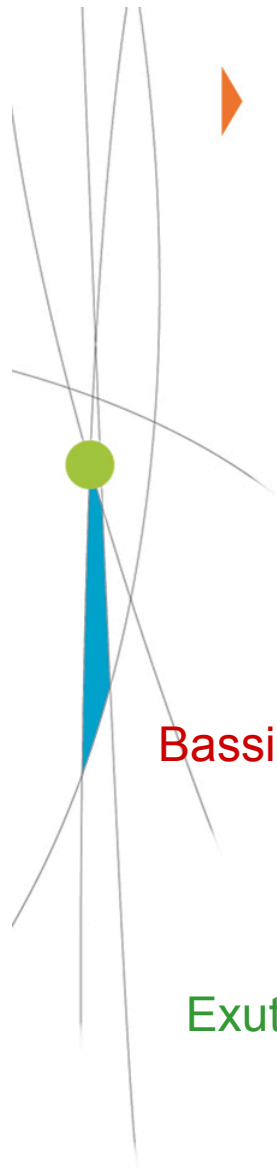


Débit

Exutoire

Bassin versant : surface alimentant la rivière en eau de pluie

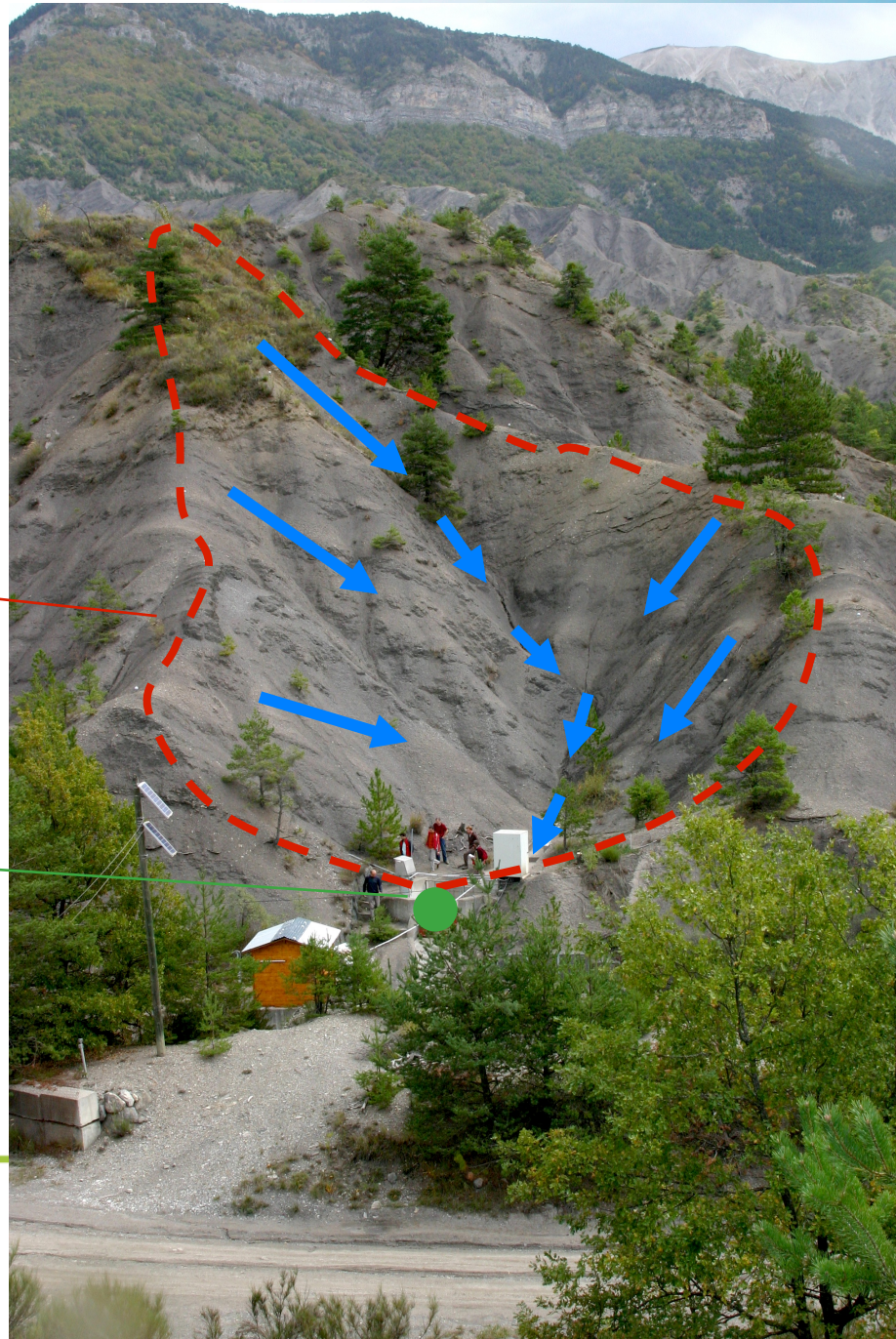
Exemple...



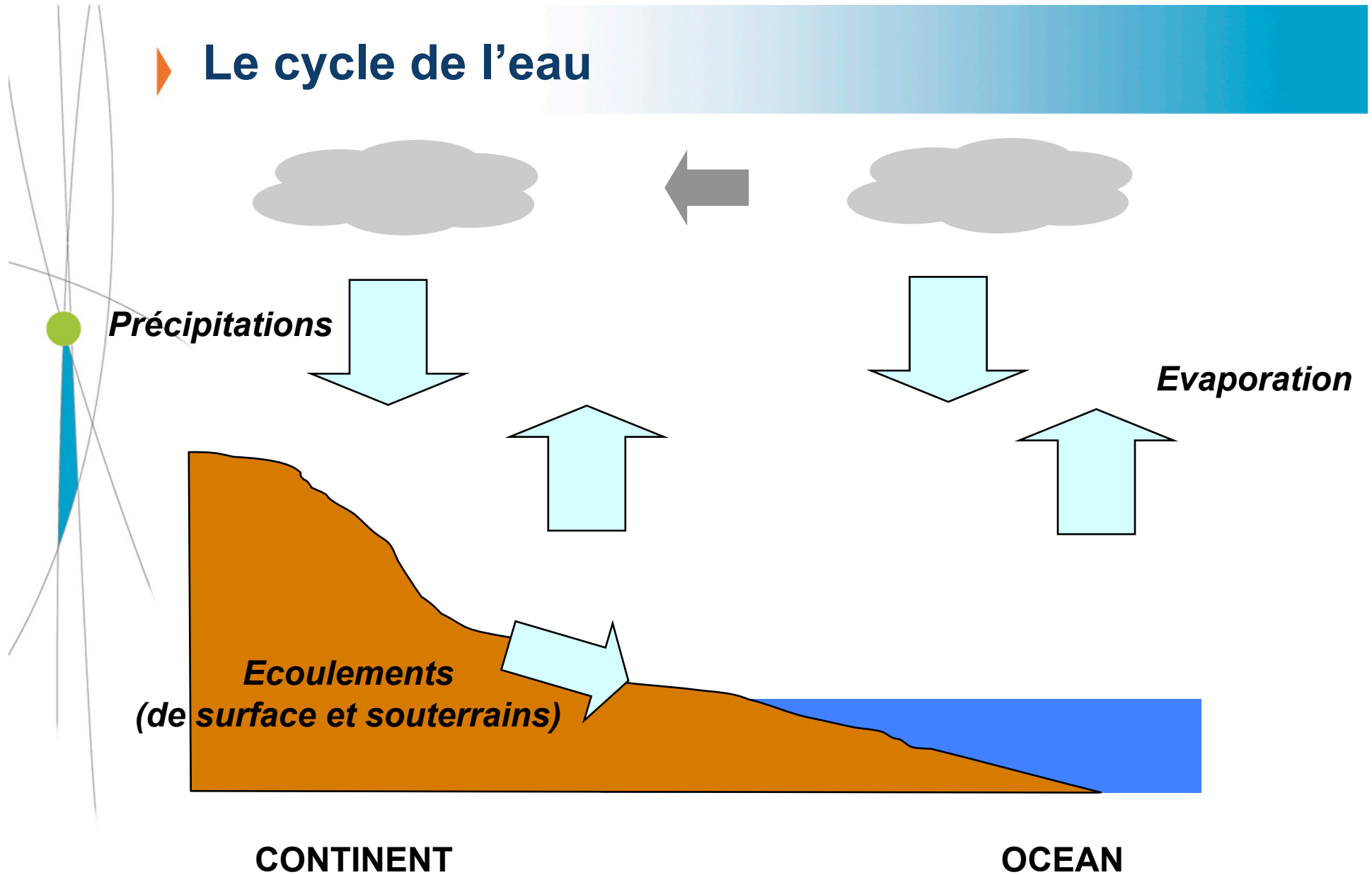
Bassin versant

Exutoire

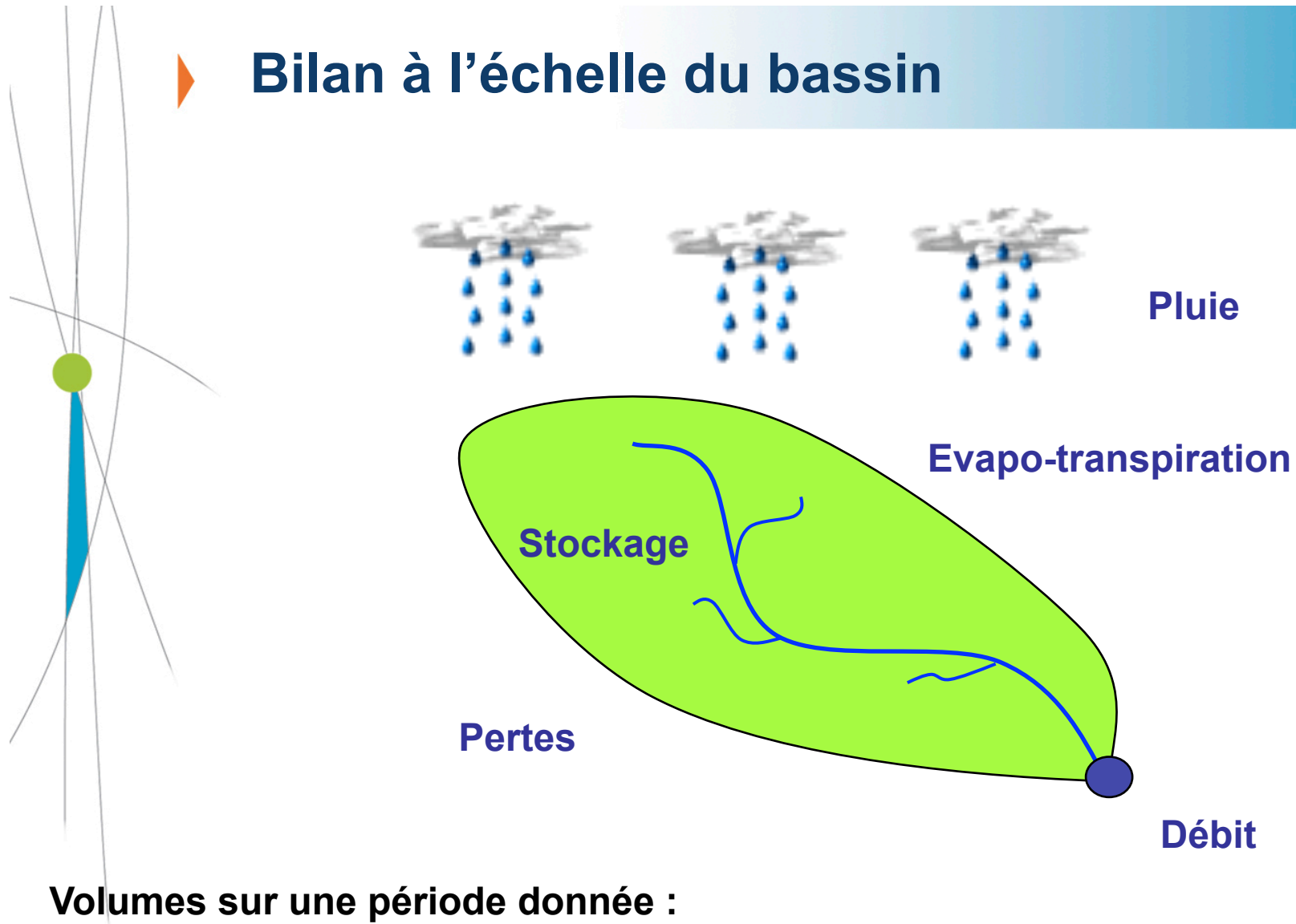
Source: Cemagref
Grenoble (BVRE Draix)



▶ Le cycle de l'eau



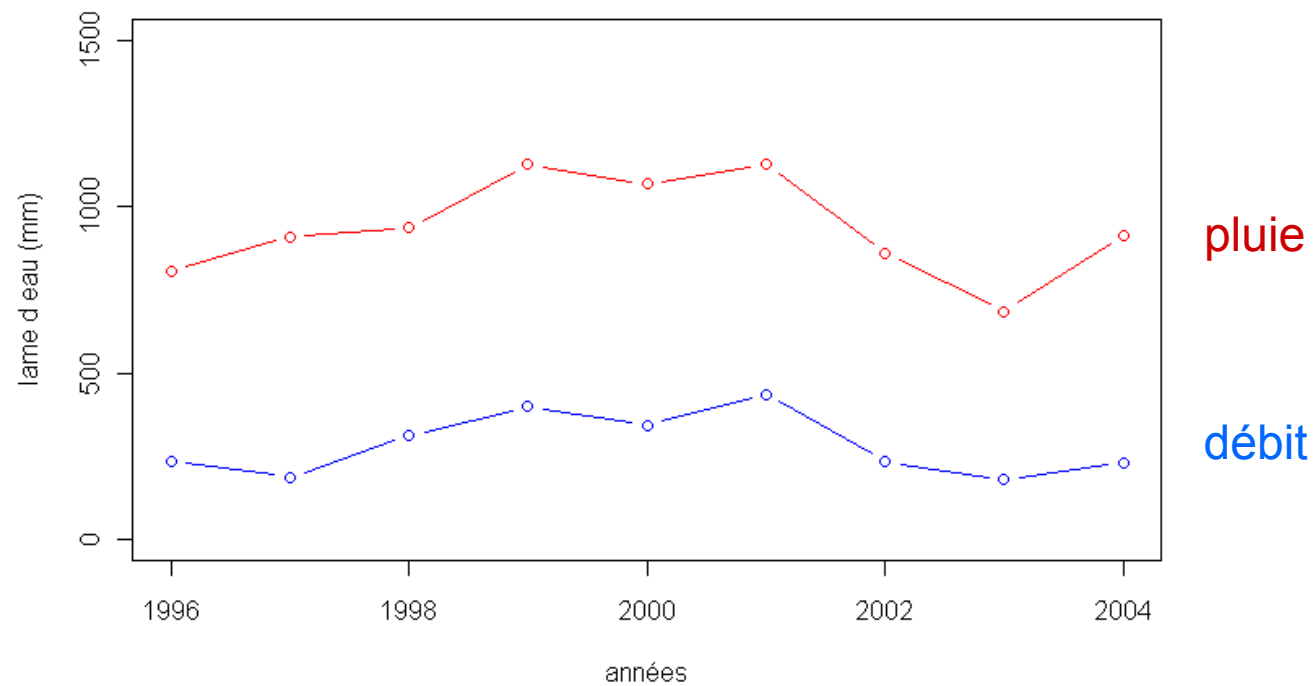
► Bilan à l'échelle du bassin



$$\text{DEBIT} = \text{PLUIE} - \text{EVAPO} - \text{STOCKAGE} - \text{PERTES}$$

Bilan des volumes annuels

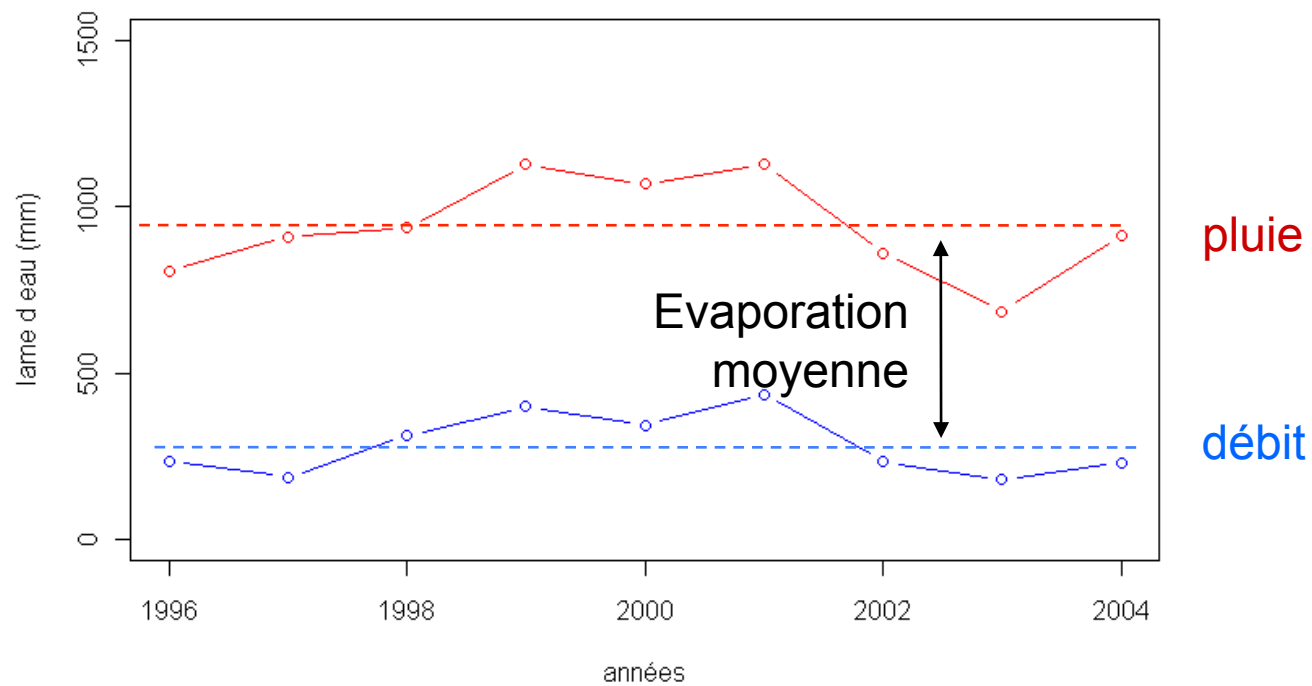
Exemple de l'Armançon à Aisy-sur-Armançon



- **Volumes écoulés exprimés en **lame d'eau** : ils sont divisés par la surface du bassin, pour obtenir une hauteur (millimètres)**

Bilan des volumes annuels

Exemple de l'Armançon à Aisy-sur-Armançon

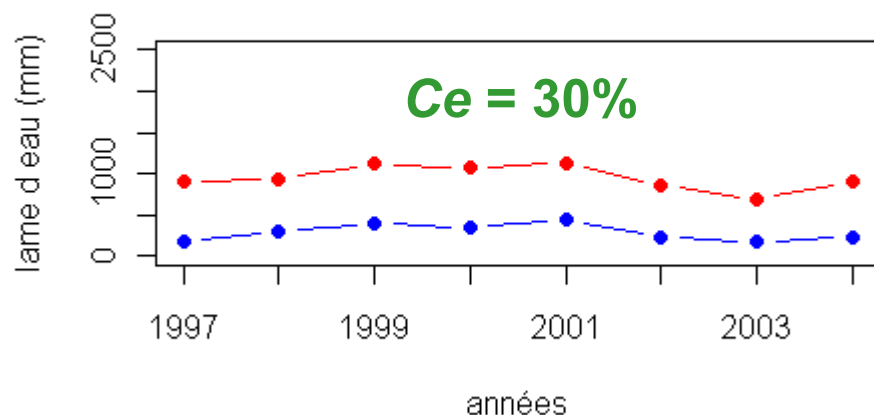


- **Coefficient d'écoulement : $C_e = \text{débit} / \text{pluie} = 30\%$**
...70% de la pluie s'est évaporée !

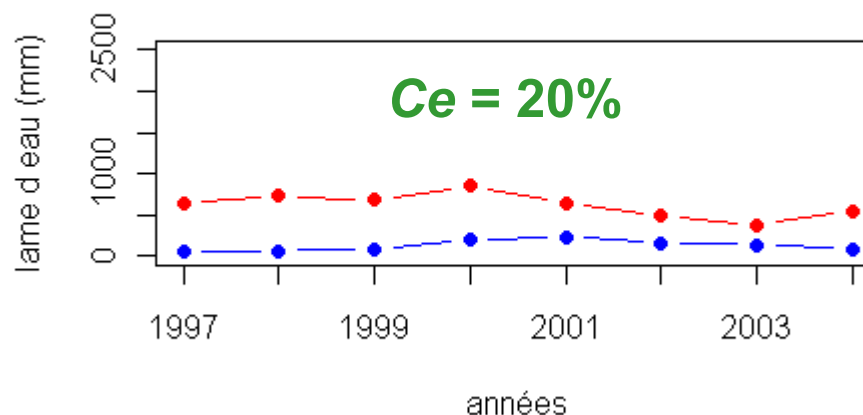
Autres exemples

— Pluie — Débit

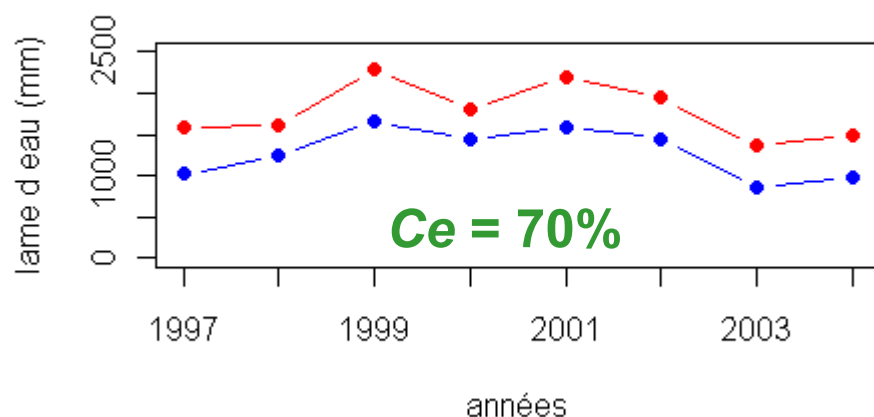
ARMANCON à Aisy



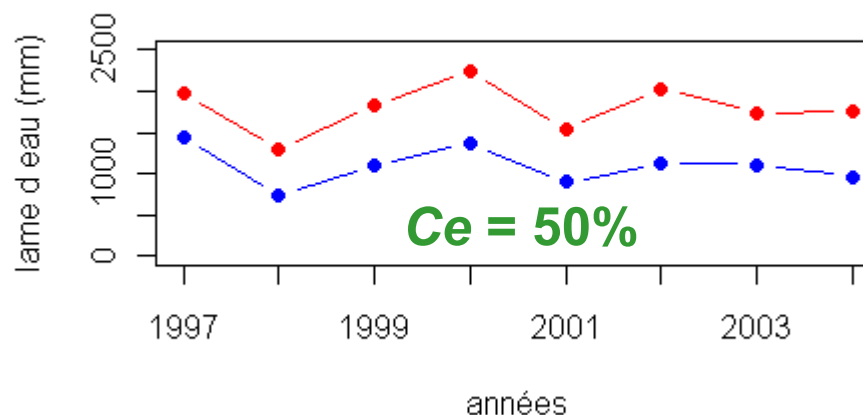
SOMME à Péronne



GUIER à St Laurent



ARDECHE à Meyras

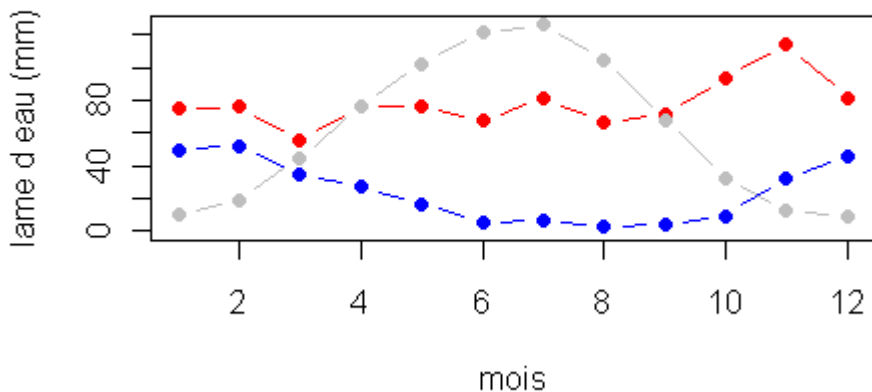


- **Le rendement annuel des pluies est (relativement) constant d'une année sur l'autre, mais très variable d'un bassin à l'autre**

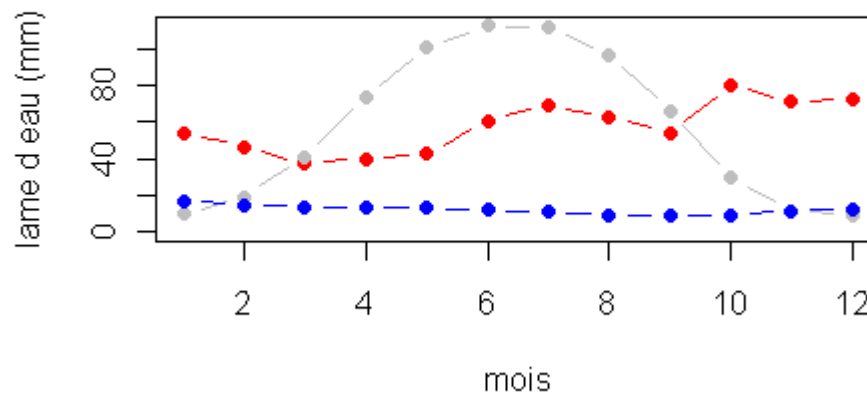
Analyse mensuelle

— Pluie — Débit — ETP

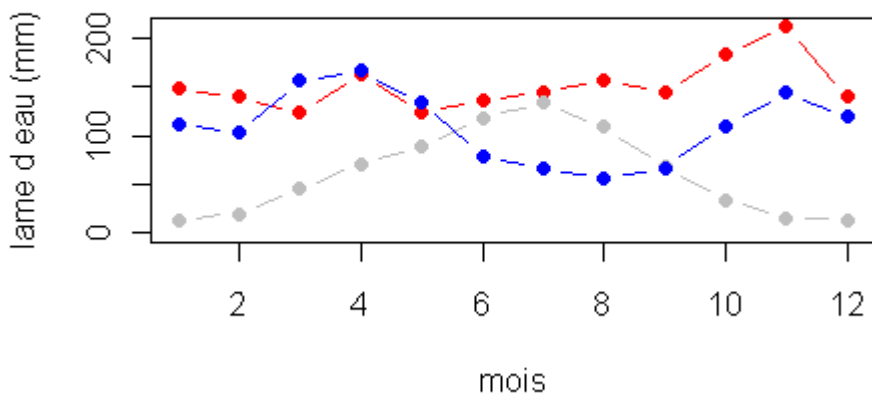
ARMANCON à Aisy



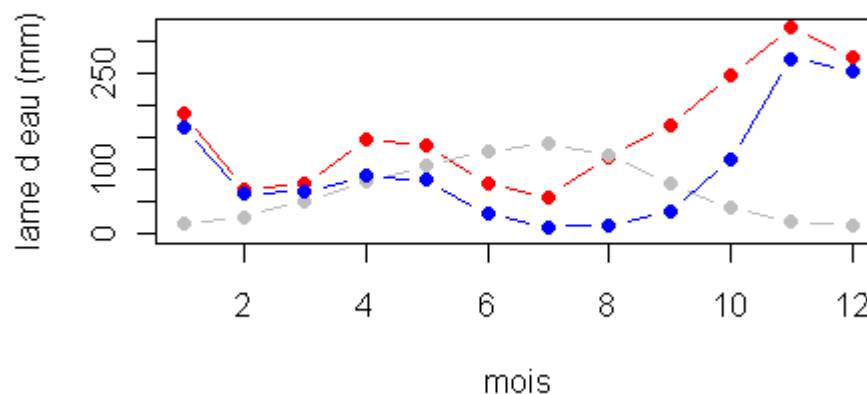
SOMME à Péronne



GUIER à St Laurent



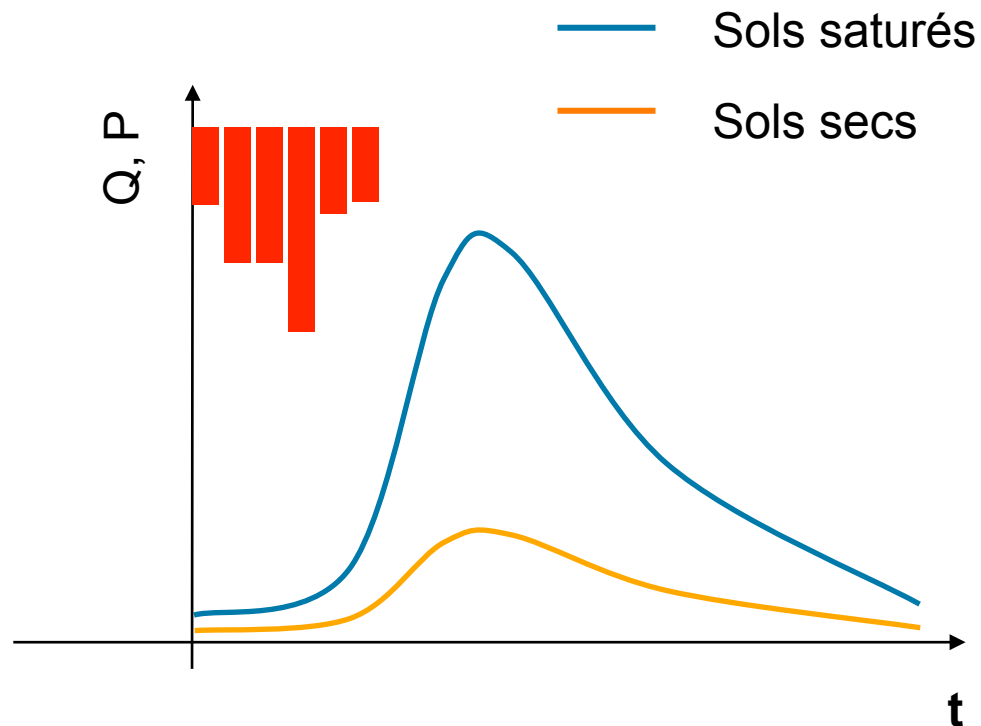
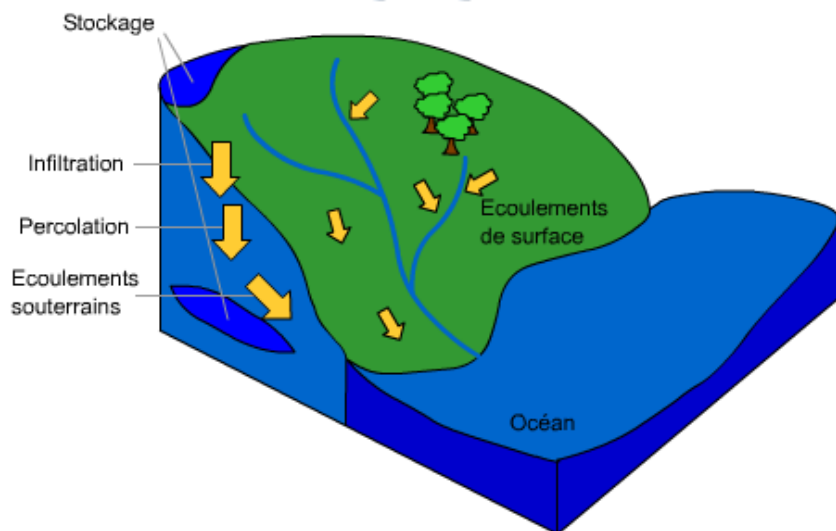
ARDECHE à Meyras



- Le rendement mensuel des pluies est très lié à la saison

► Analyse à l'échelle d'une crue

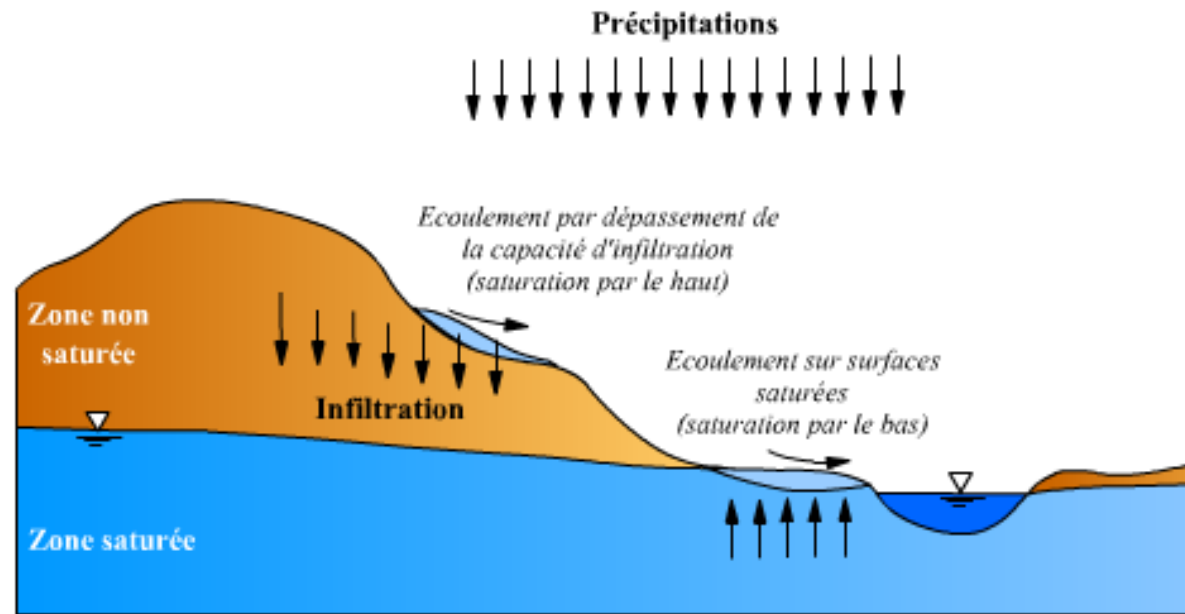
Source : A. Musy



- A l'échelle d'une crue, le rendement de la pluie est très lié à l'état initial de saturation des sols

Saturation des sols

- Deux types :
 - dépassement de la capacité d'infiltration (par le haut)
 - Remontée de nappe (par le bas)



Source : A. Musy

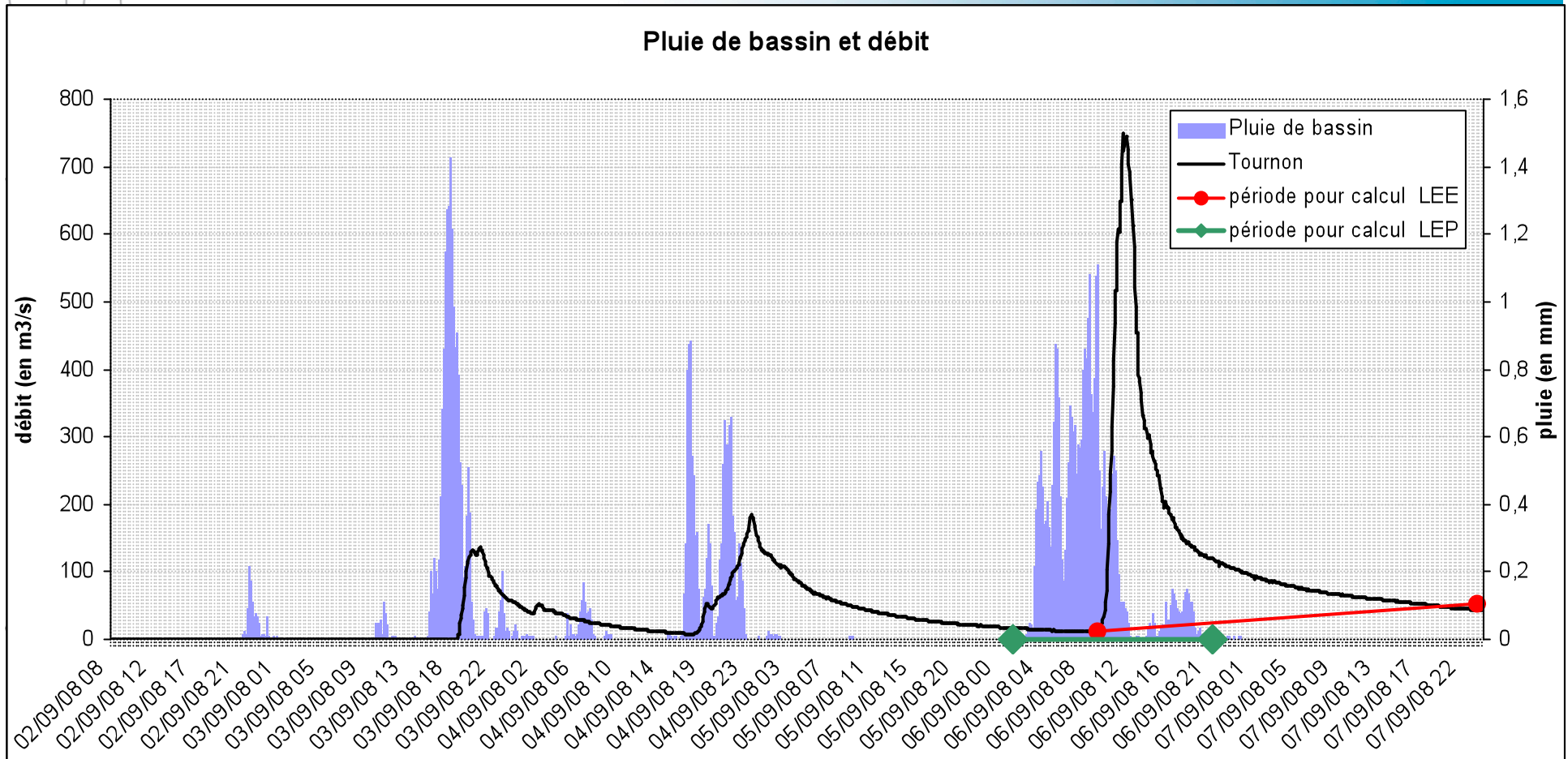
▶ Exemple de ruissellement



le Gardon en crue (2002)

photo D. Jeannot

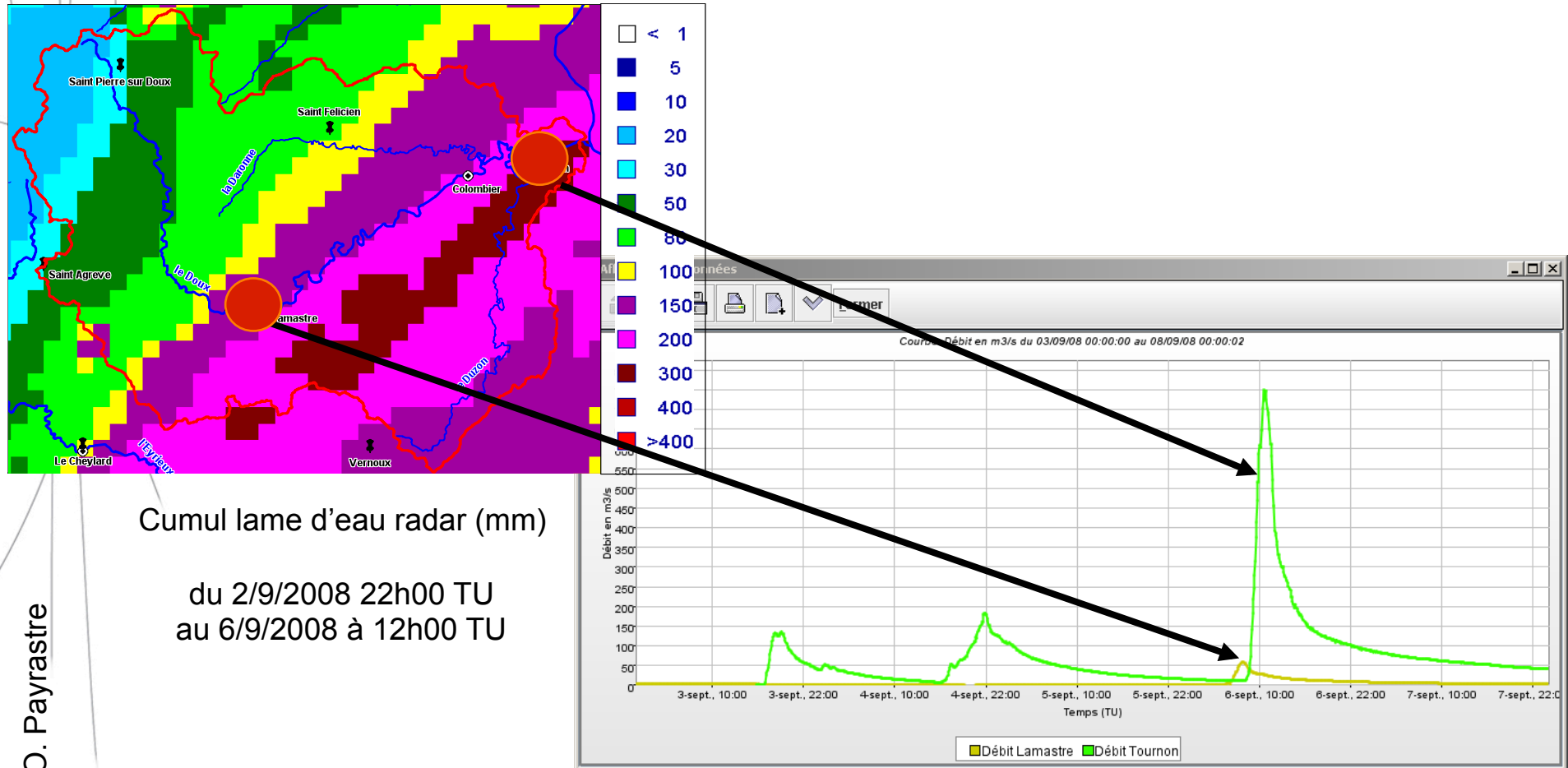
Effet de l'augmentation de la saturation du sol



Crue du 6 septembre 2008 sur le Doux (département de l'Ardèche)

- **Le rendement de la pluie augmente au fur et à mesure que les sols se saturent**

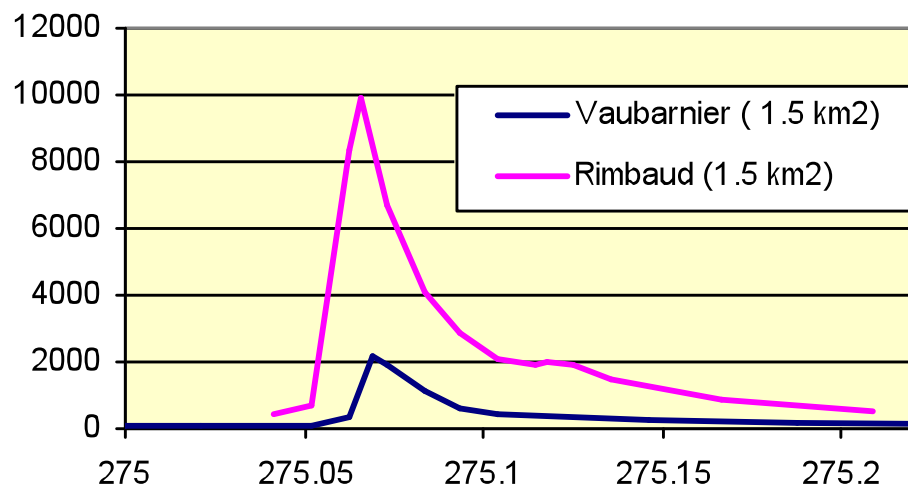
► Effet de la variabilité spatiale de la pluie



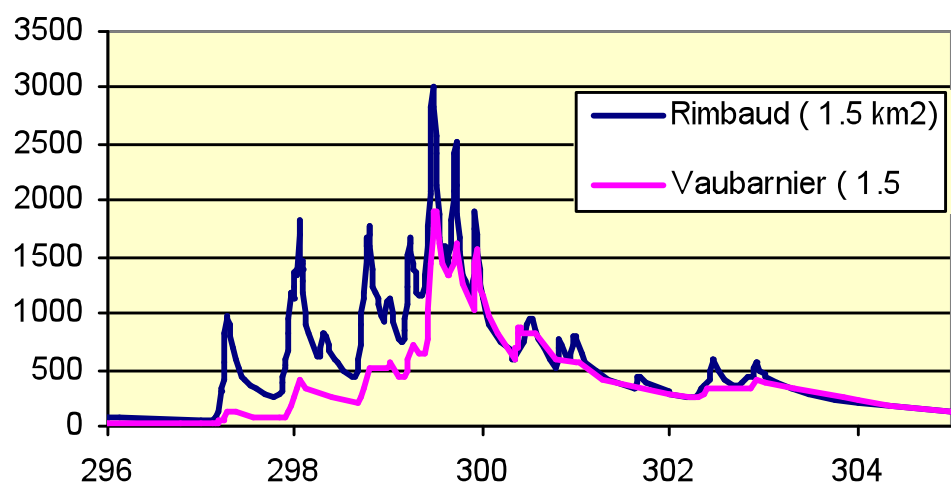
- **Sur le même bassin, plus à l'amont, pratiquement aucune réaction n'est observée**

Réponse de deux bassins voisins

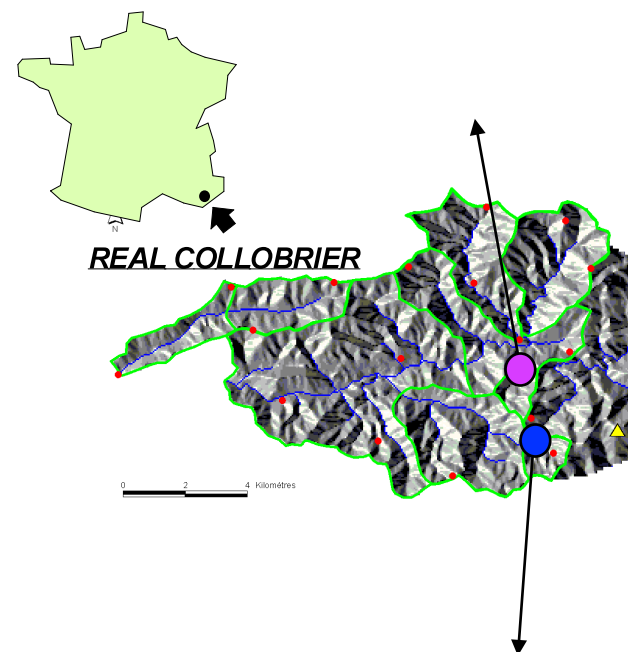
Crue du 3 oct 1973



Crue du 24 oct 1976



Vaubarnier : Châtaigniers sur sols assez profonds



Rimbaud : Maquis sur sols peu profonds

An abstract graphic on the left side of the slide. It features several thin, grey, curved lines that intersect. A small orange triangle points to the right at the top. A green circle is positioned on one of the lines, and a blue, elongated, teardrop-shaped area is located below it.

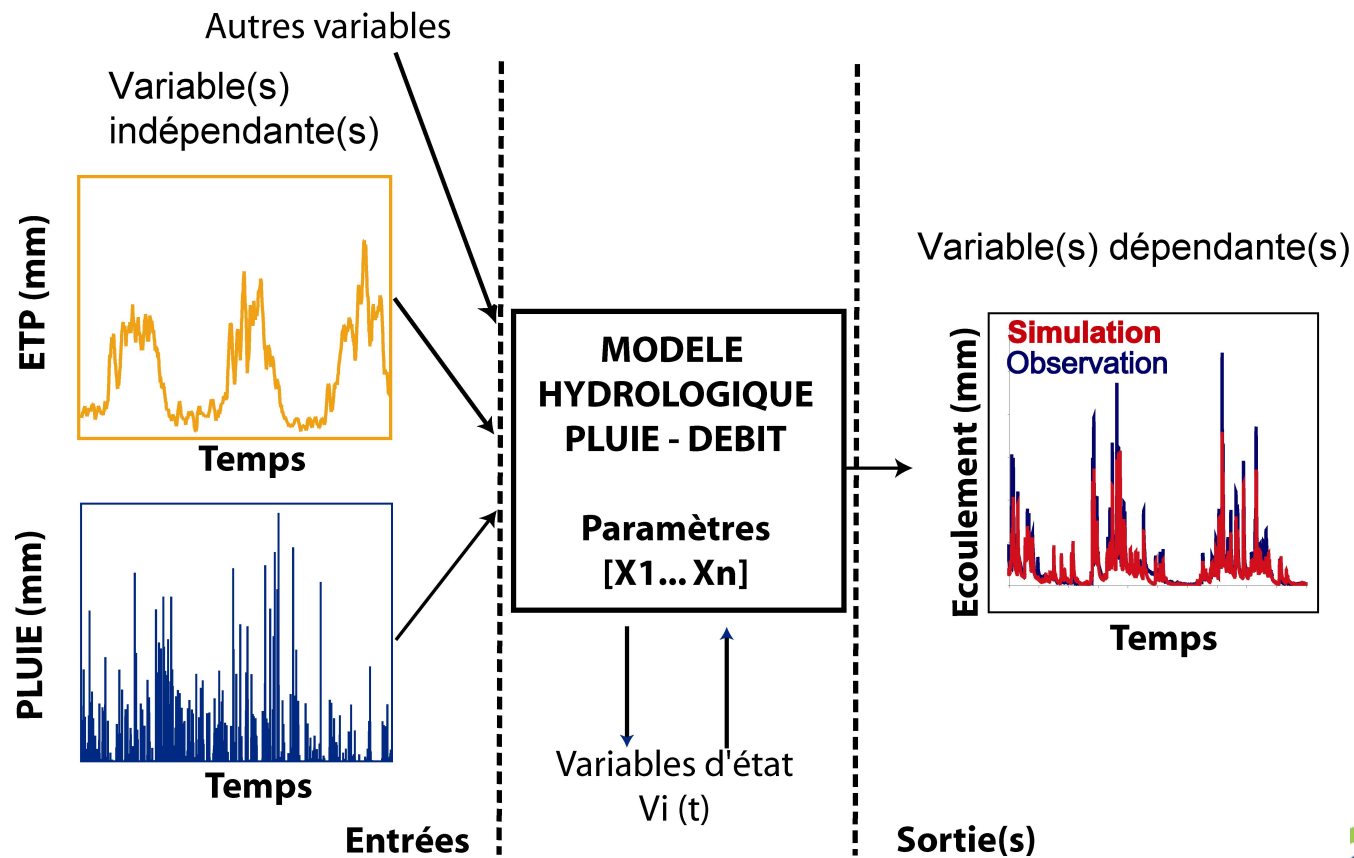
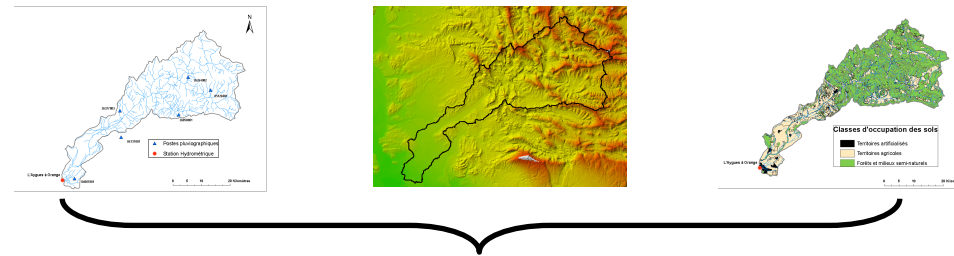
PLAN

➤ **Notions d'hydrologie**

➤ **Les modèles utilisés**

➤ **Exemple d'application**

▶ Qu'est-ce qu'un modèle hydrologique ?



(Source: Mathevet, 2005)



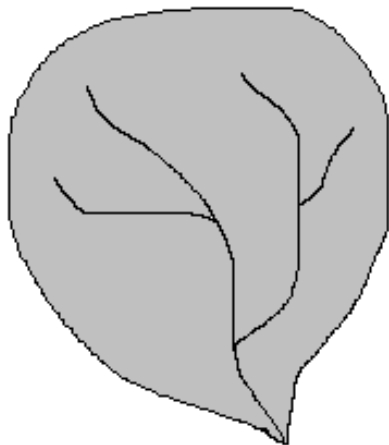
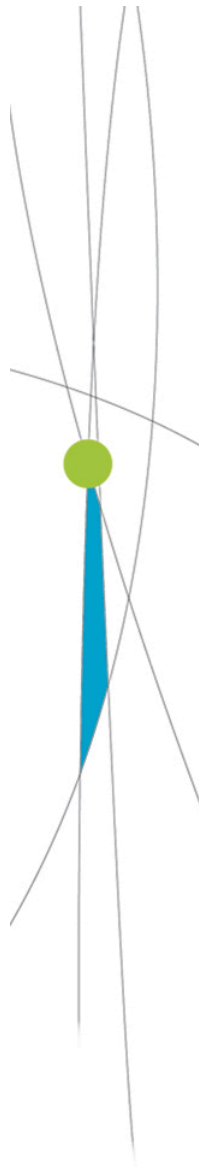
▶ Du bassin au modèle

Le modèle correspond à une triple simplification du système réel :

- dans l'espace
- dans le temps
- dans la description des processus

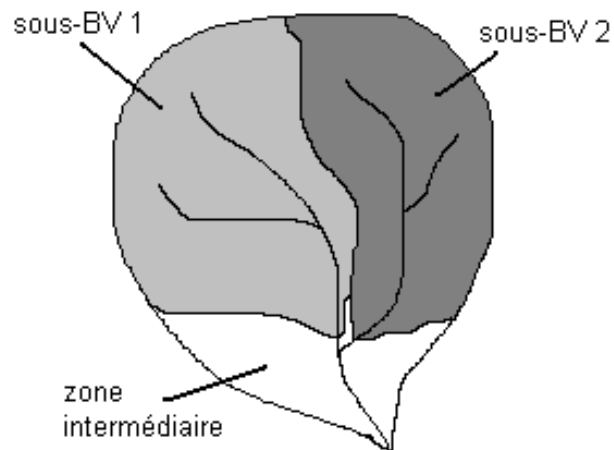
► Simplification dans l'espace

- Global / distribué / semi-distribué



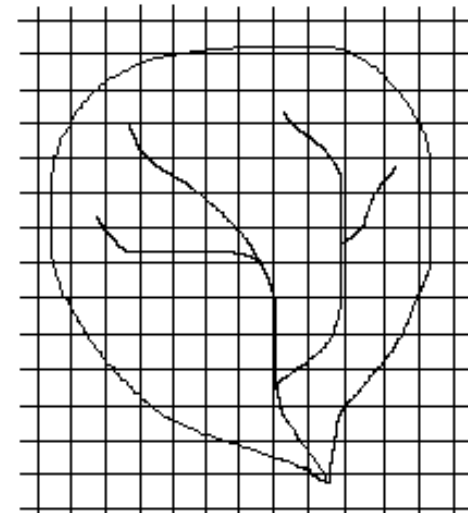
Approche globale

unité élémentaire = bassin versant



Approche semi-distribuée

unité élémentaire = sous-bassin versant

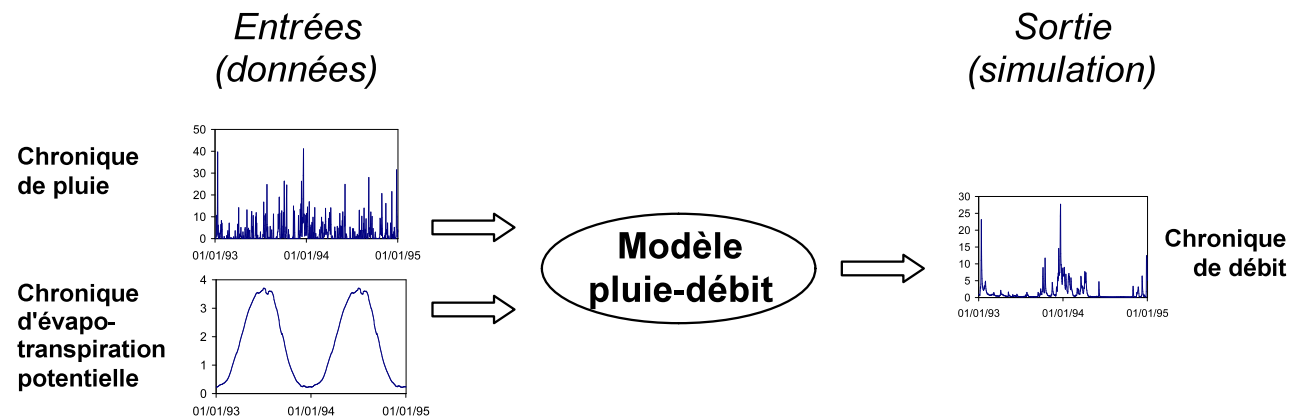


Approche distribuée

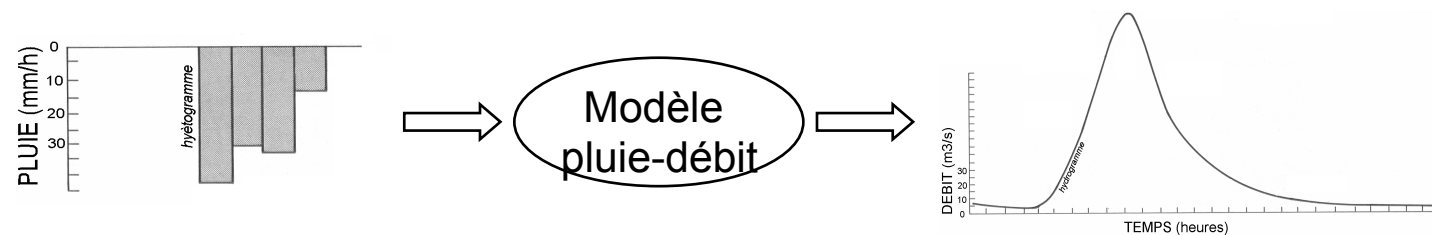
unité élémentaire = maille de grille

► Simplification dans le temps

- Pas de temps : horaire/journalier/mensuel/ annuel
- Modèle continu (toute l'année) :



- Modèle événementiel (averse -> crue) :

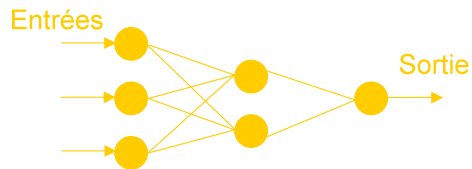


Source : Ch. Perrin

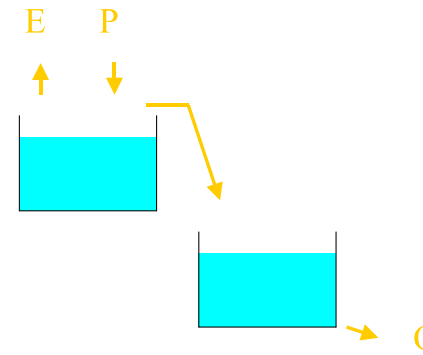
Simplification des processus

Modèles 'boîte noire'

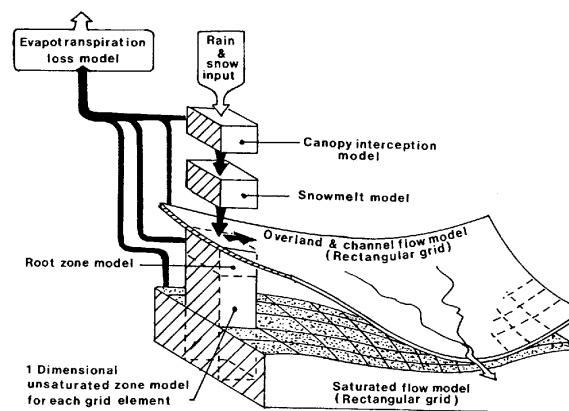
$$Q_t = \mu + \sum_{j=1}^p \phi_j (Q_{t-j} - \mu) + \sum_{j=1}^r \psi_j P_{t-j} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$



Modèles 'conceptuels'



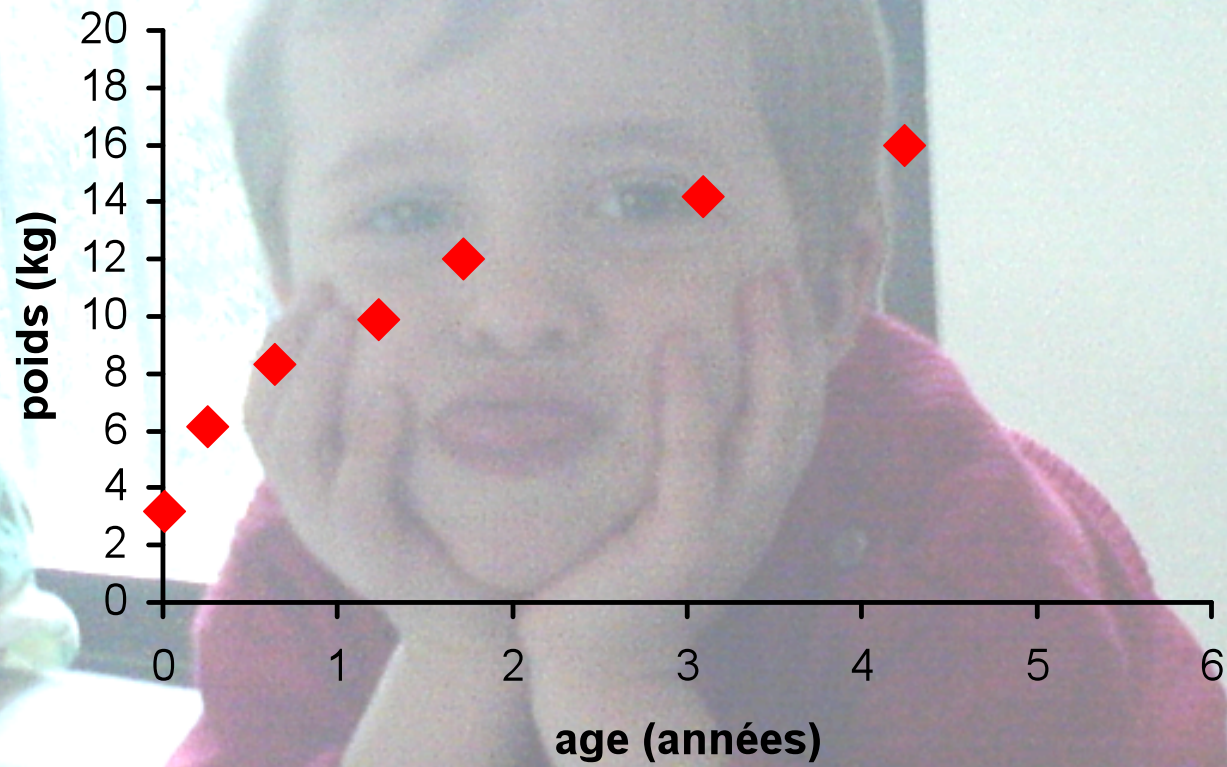
Modèles 'physiques'



Source : Ch. Perrin

(Source : Abbott *et al.*, 1986)

ROBIN

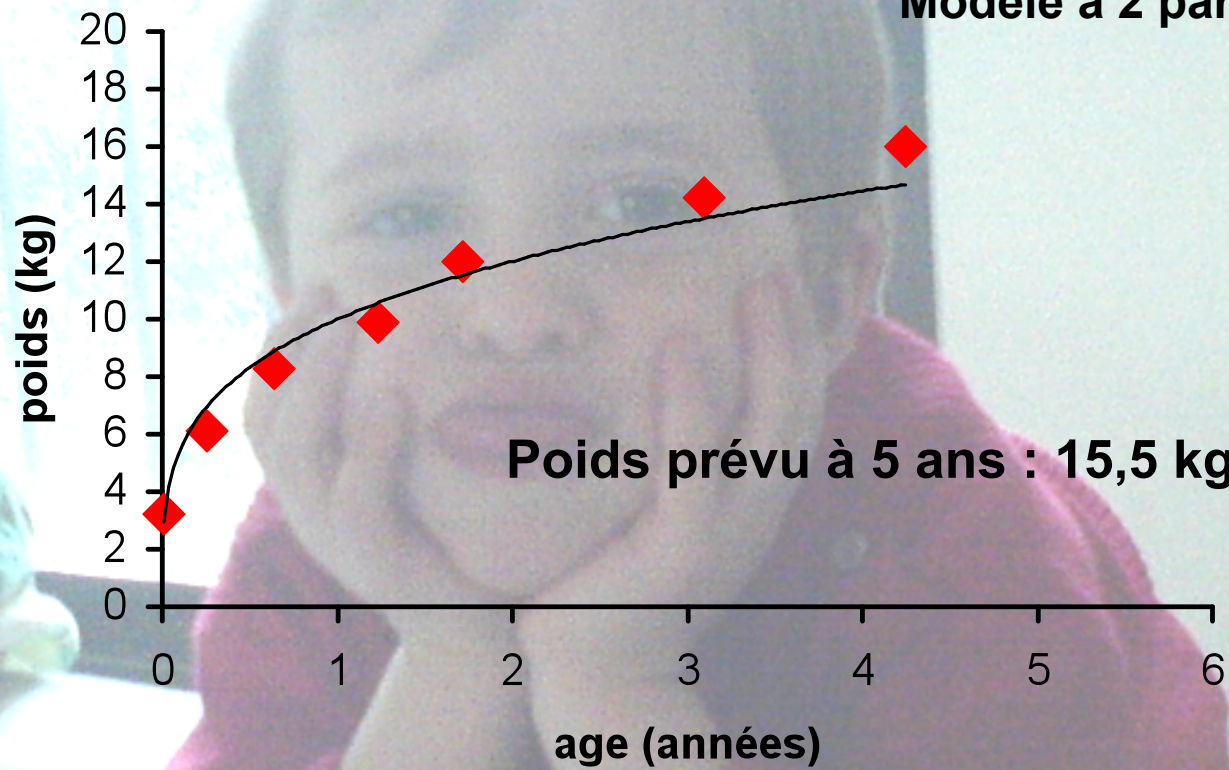


ROBIN

$$y = 10x^{0,27}$$

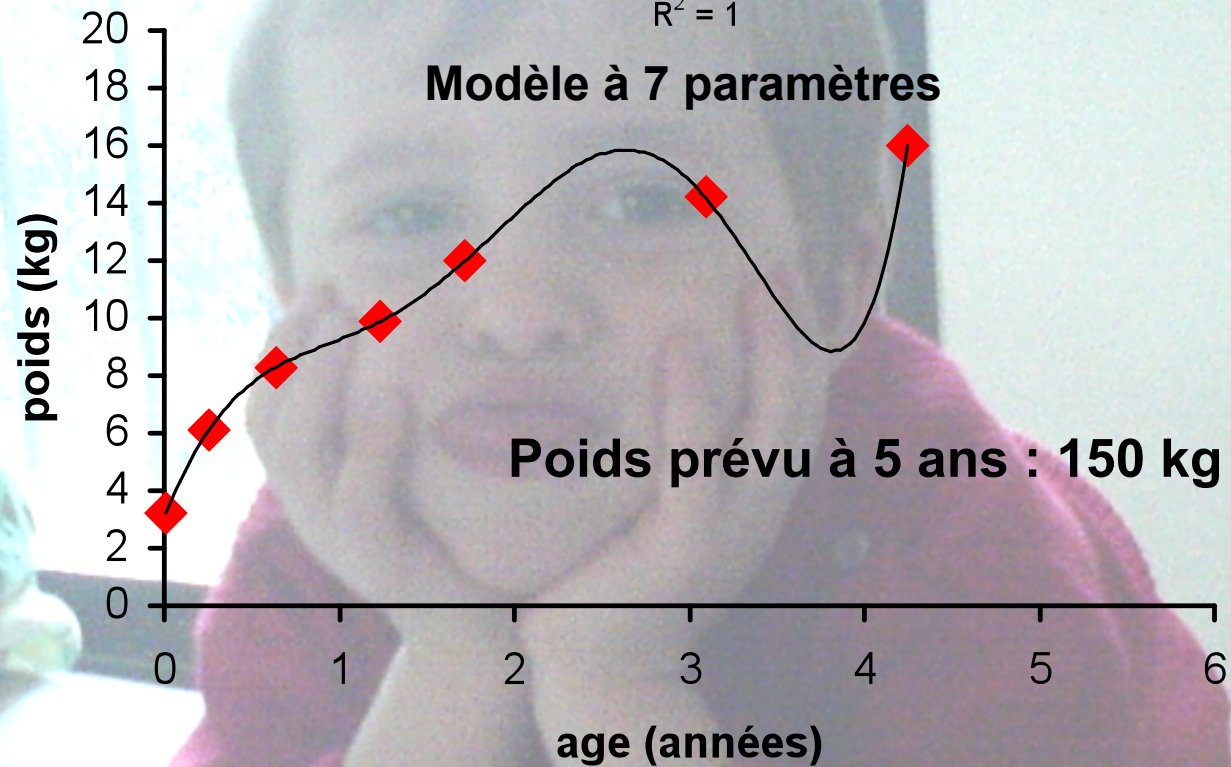
$$R^2 = 0,97$$

Modèle à 2 paramètres



ROBIN

$$y = 0,14x^6 - 1,03x^5 + 1,27x^4 + 5,49x^3 - 15,16x^2 + 15,49x + 3,04$$
$$R^2 = 1$$





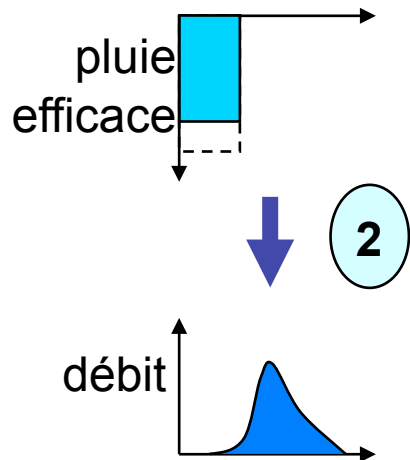
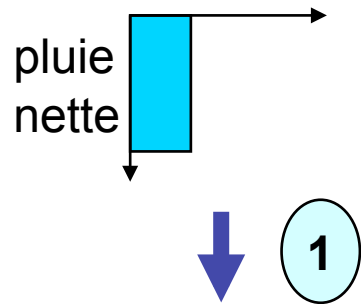
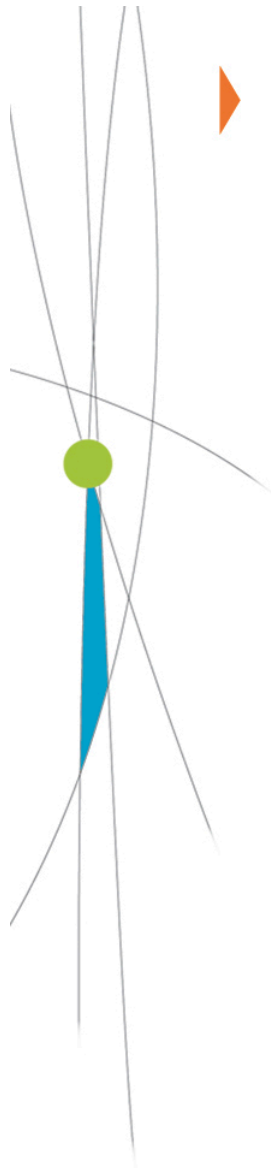
▶ S'assurer de la robustesse du modèle

- Calage / validation
- Parcimonie des paramètres
- Test sur un grand nombre de bassins

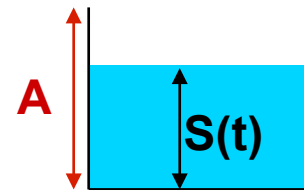


(Thèse N. Le Moine)

Principes de base des modèles du Cemagref



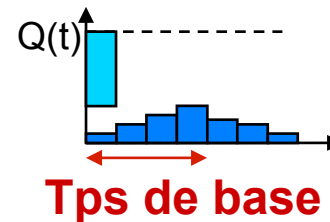
1. Fonction de production



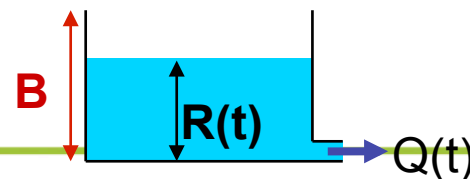
$$P_{\text{effi}} = (S/A)^2 P_{\text{nette}}$$
$$\text{stock} = P_{\text{nette}} - P_{\text{effi}}$$

Etat de saturation des sols

2. Fonction de transfert

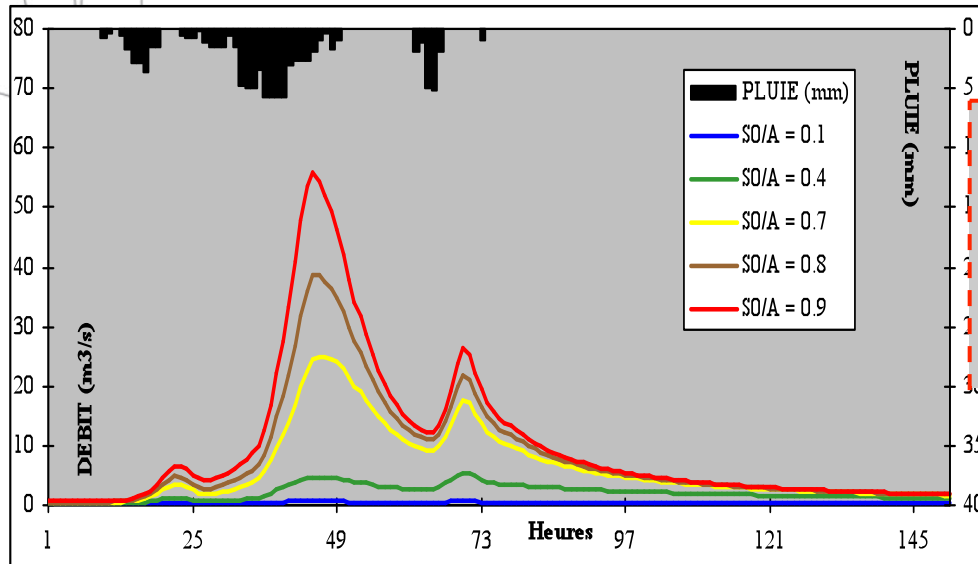


Hydrogramme(s)
unitaire(s)
(réponse linéaire)

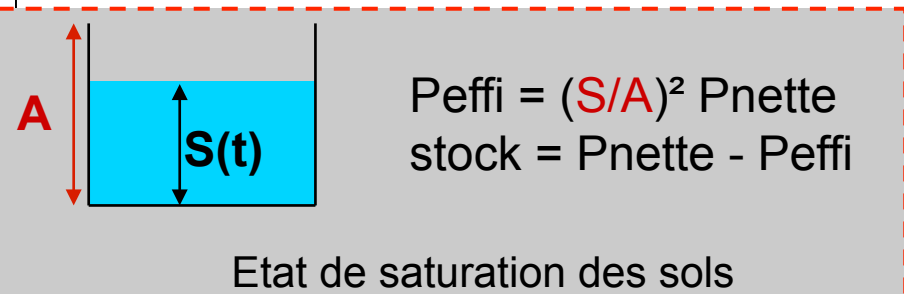


Réservoir de
routage
(réponse non
linéaire)

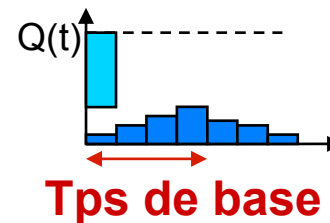
Principes de base des modèles du Cemagref



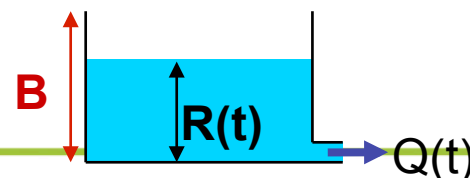
1. Fonction de production



Fonction de transfert

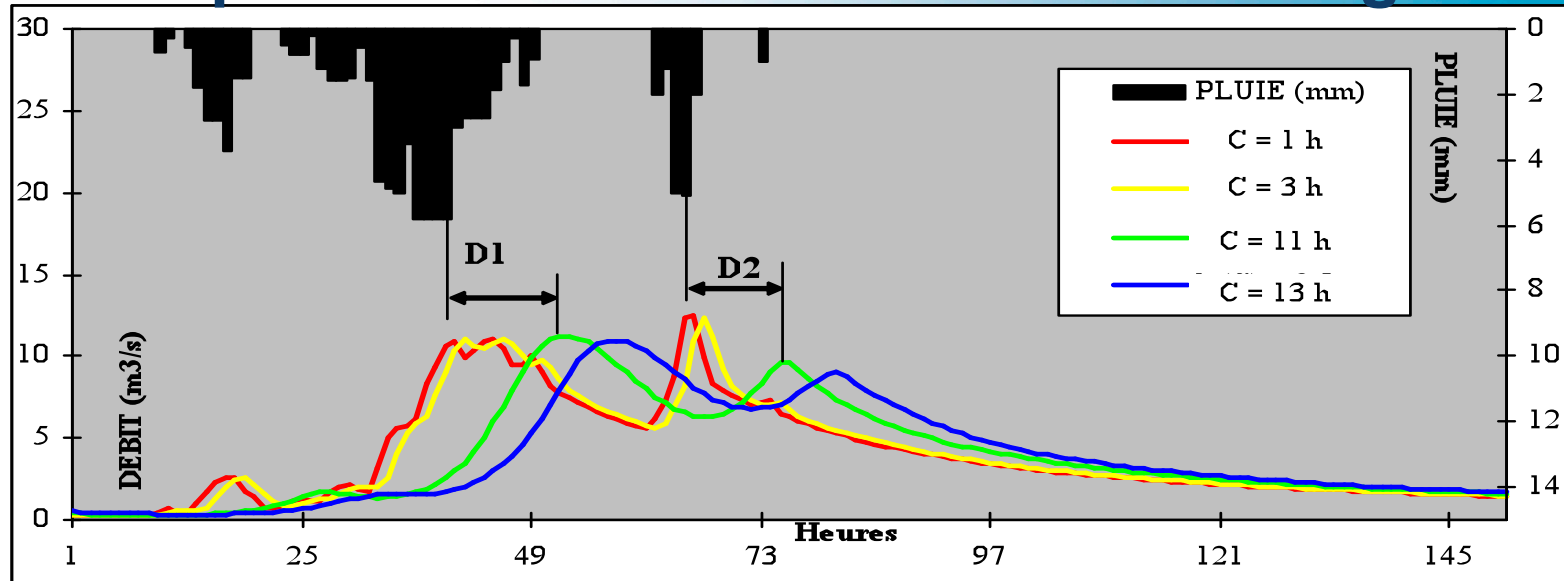


Hydrogramme(s)
unitaire(s)
(réponse linéaire)

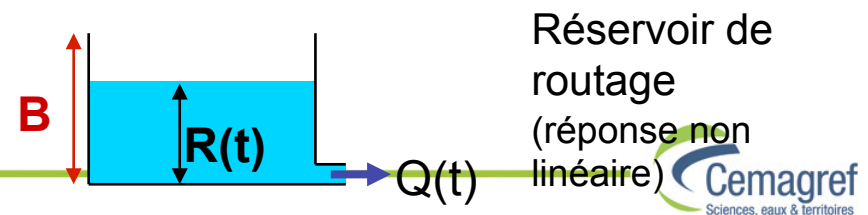
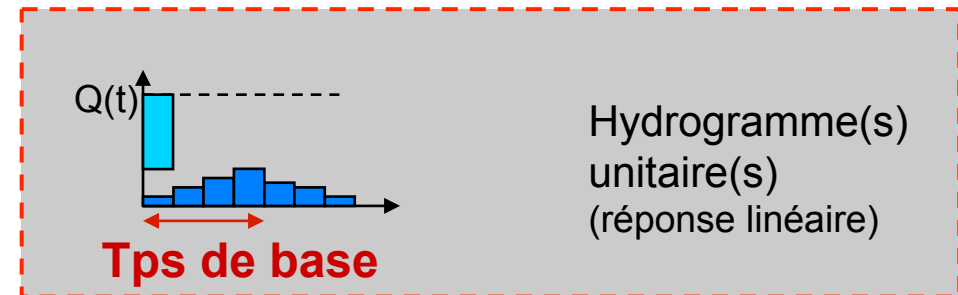


Réservoir de
routage
(réponse non
linéaire)

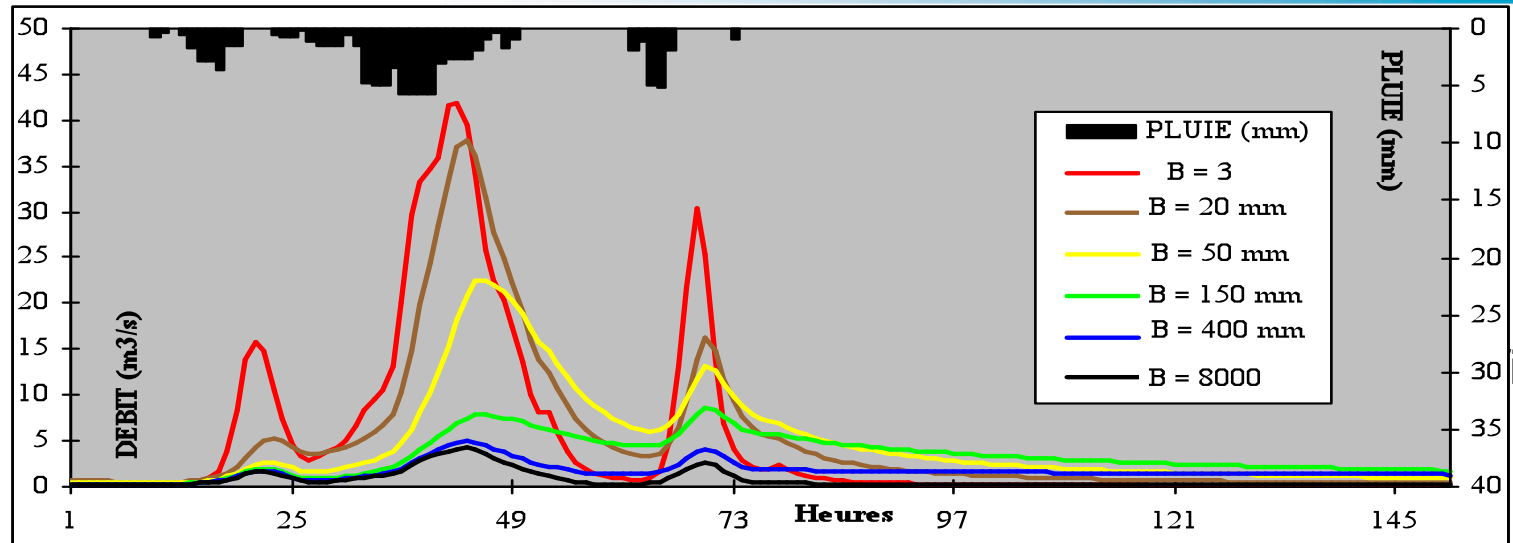
Principes de base des modèles du Cemagref



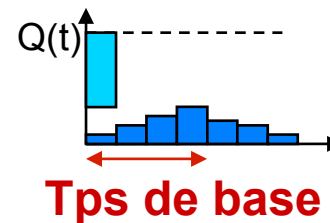
2. Fonction de transfert



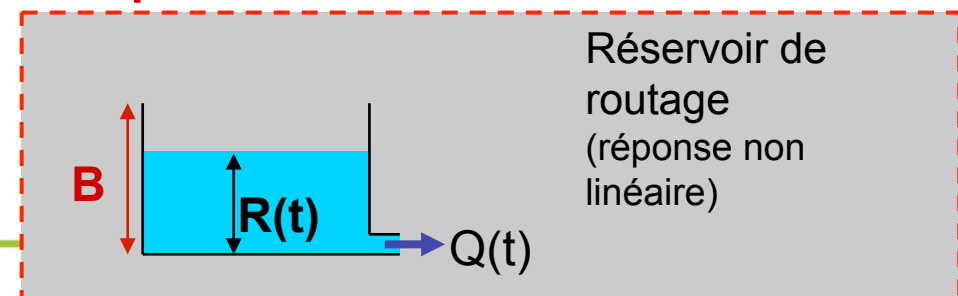
Principes de base des modèles du Cemagref



2. Fonction de transfert



Hydrogramme(s)
unitaire(s)
(réponse linéaire)



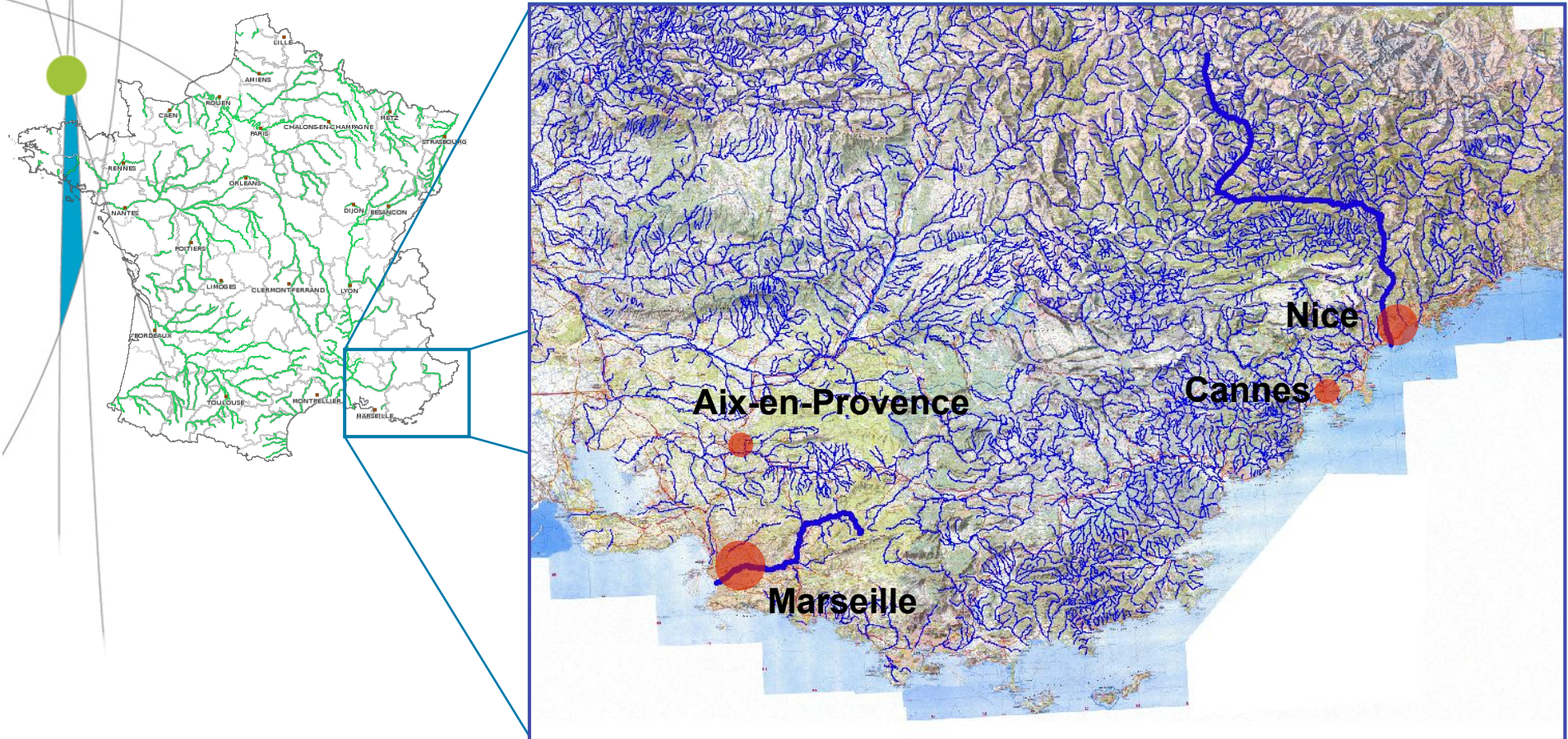
An abstract graphic on the left side of the slide. It features several thin, grey, curved lines that intersect. A small orange triangle points to the right at the top. A green circle is positioned on one of the lines, with a blue vertical bar extending downwards from it.

PLAN

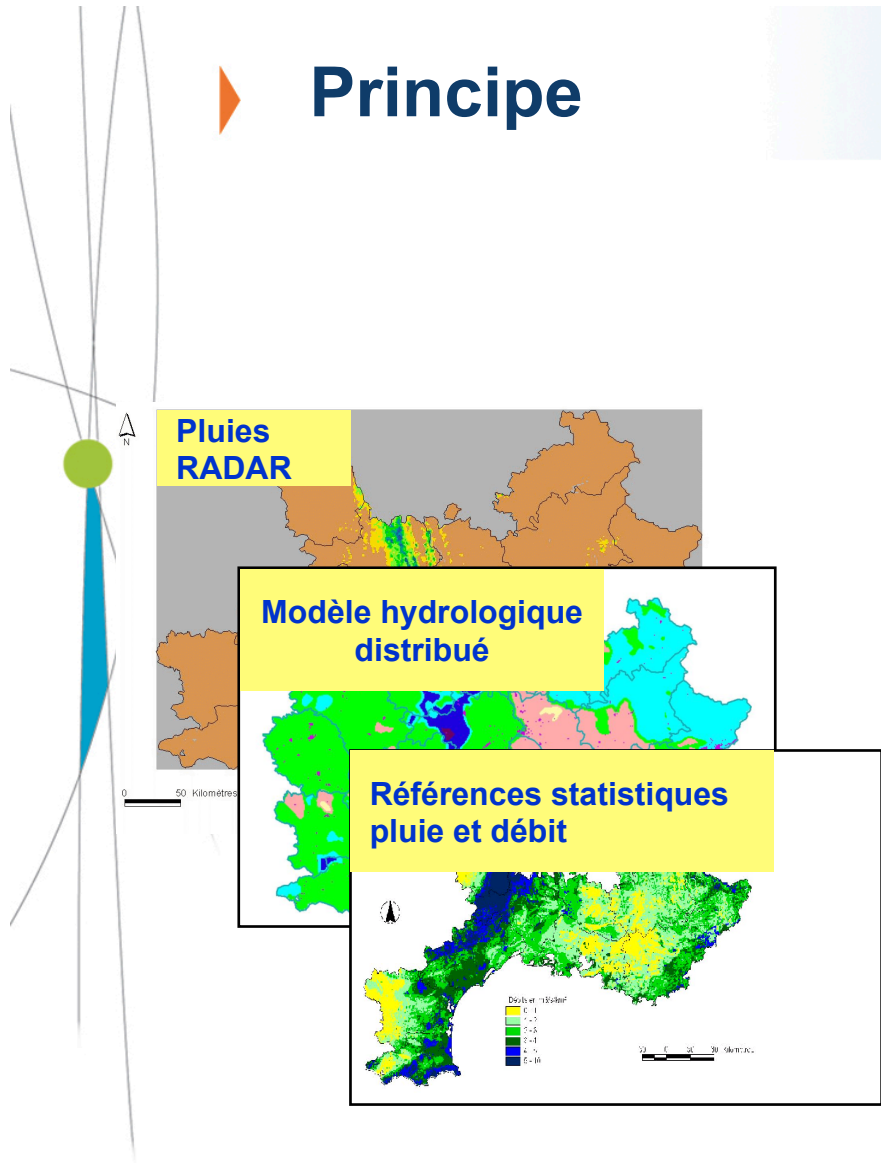
- **Notions d'hydrologie**
- **Les modèles utilisés**
- **Exemple d'application**

▶ La méthode AIGA

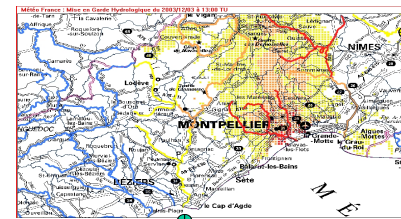
- **Objectif : anticipation de crues en cours d'eau non jaugés**



Principe



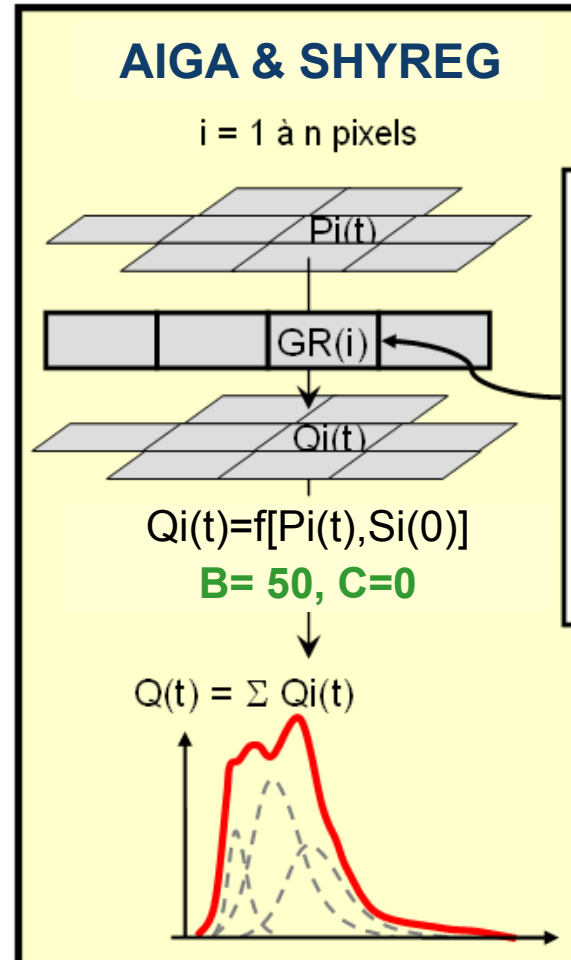
Approche AIGA



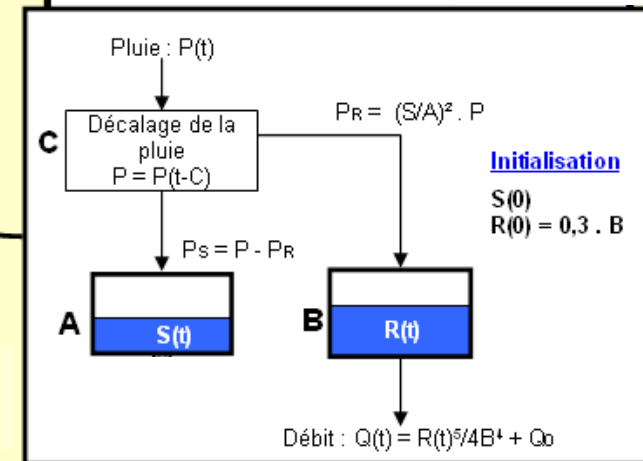
- 2 < T (ans) < 10
- 10 < T (ans) < 50
- T (ans) > 50

Le modèle mis en œuvre

- Distribué
- Événementiel



GR simple



Exemple d'application en zone de montagne

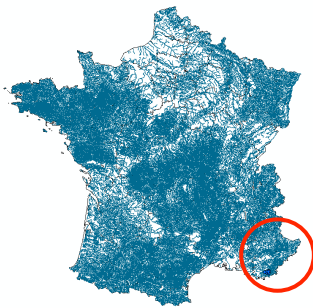


Photo : Novimet

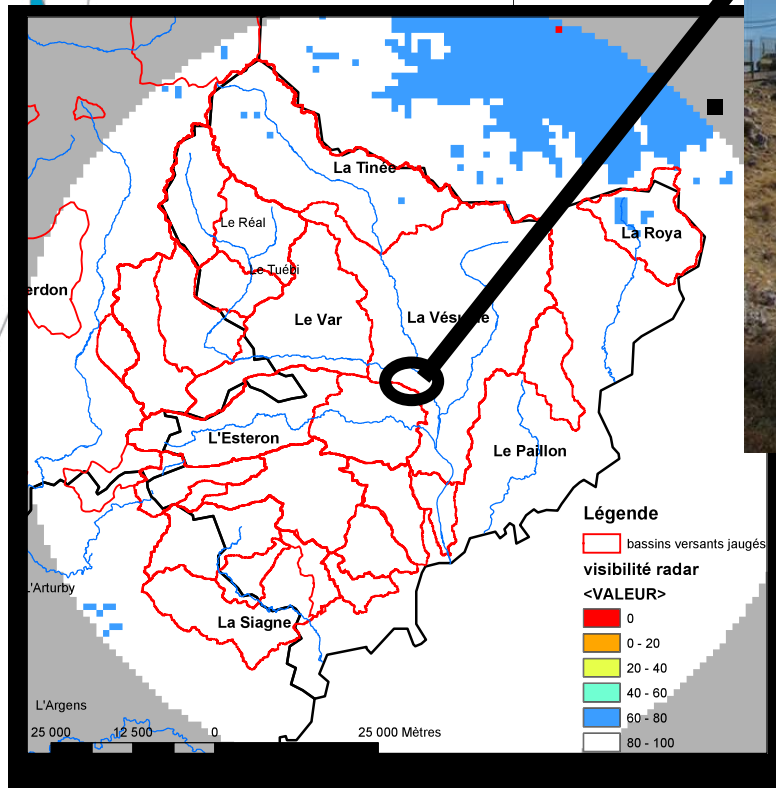
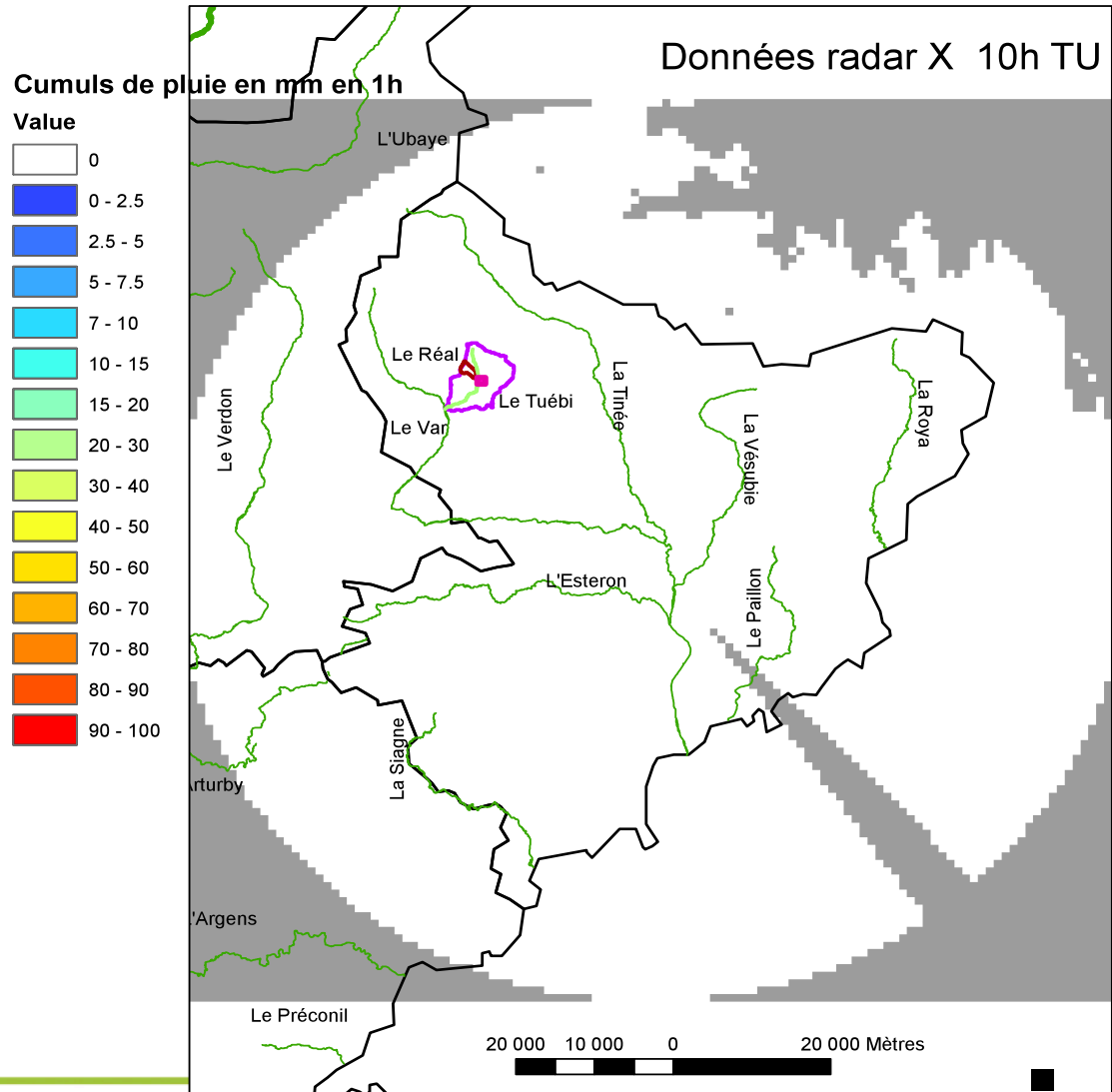
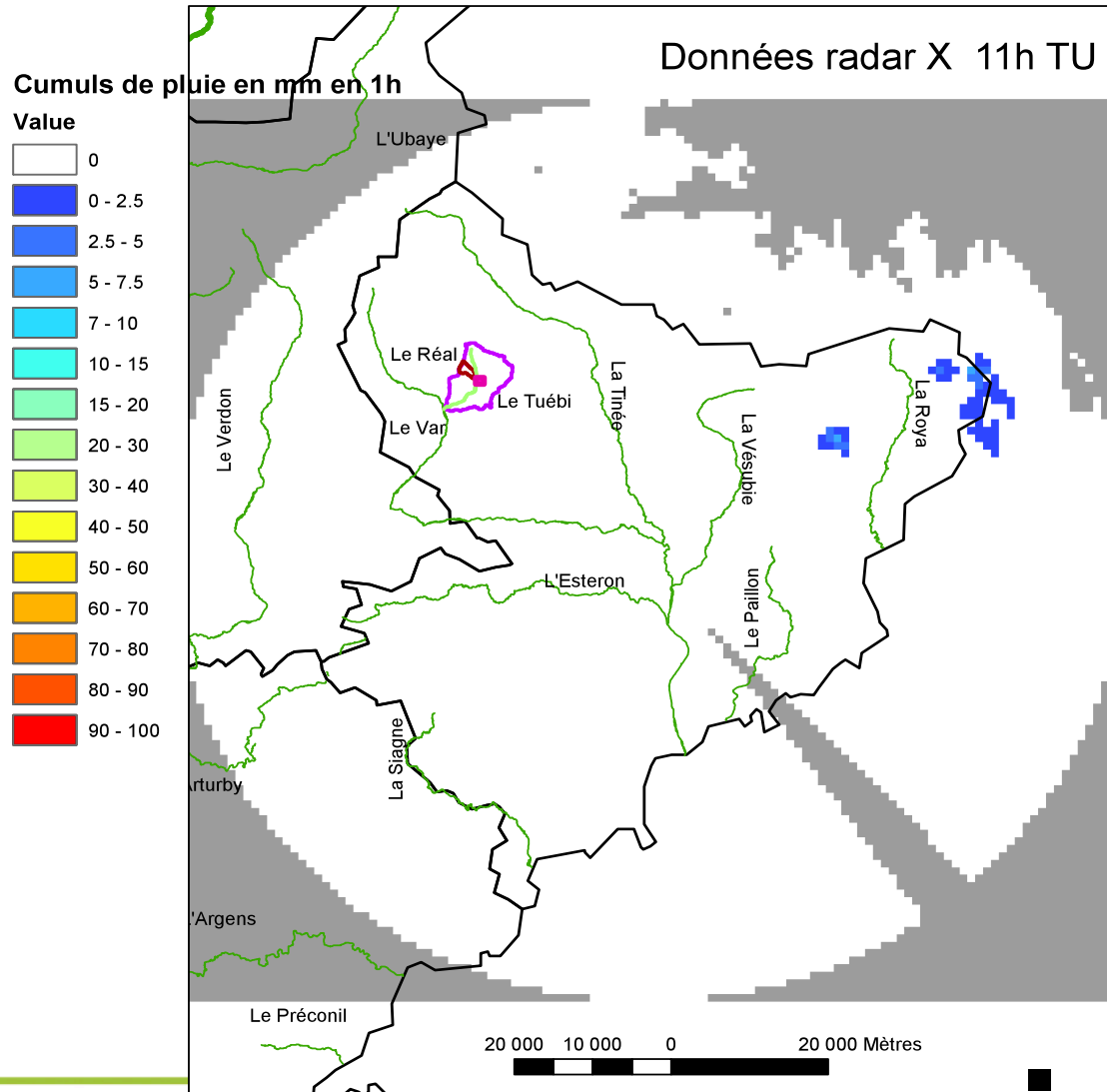


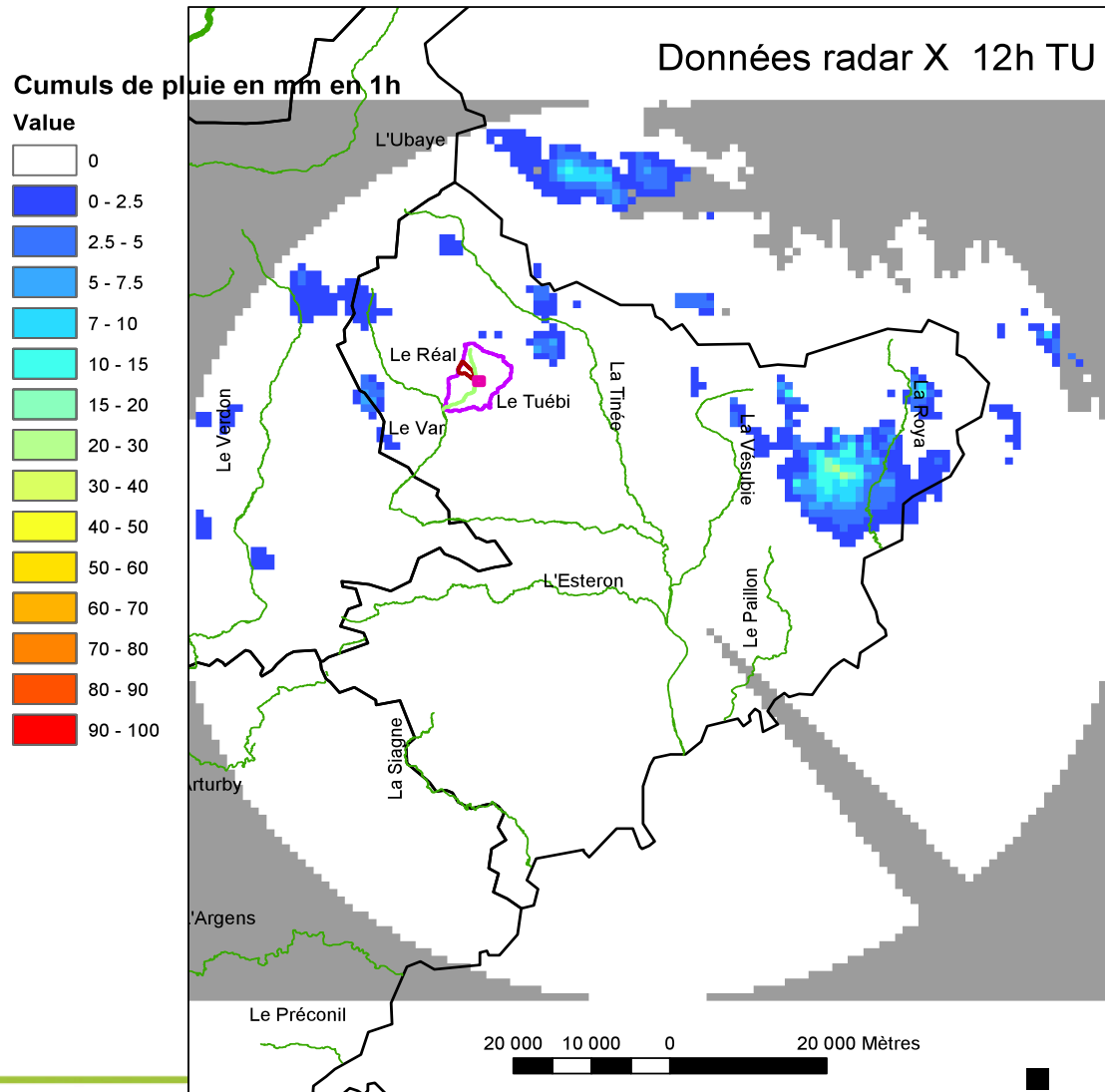
Image radar 29 juin 2009 entre 9h et 10h (TU)



29 juin 2009 entre 10h et 11h (TU)

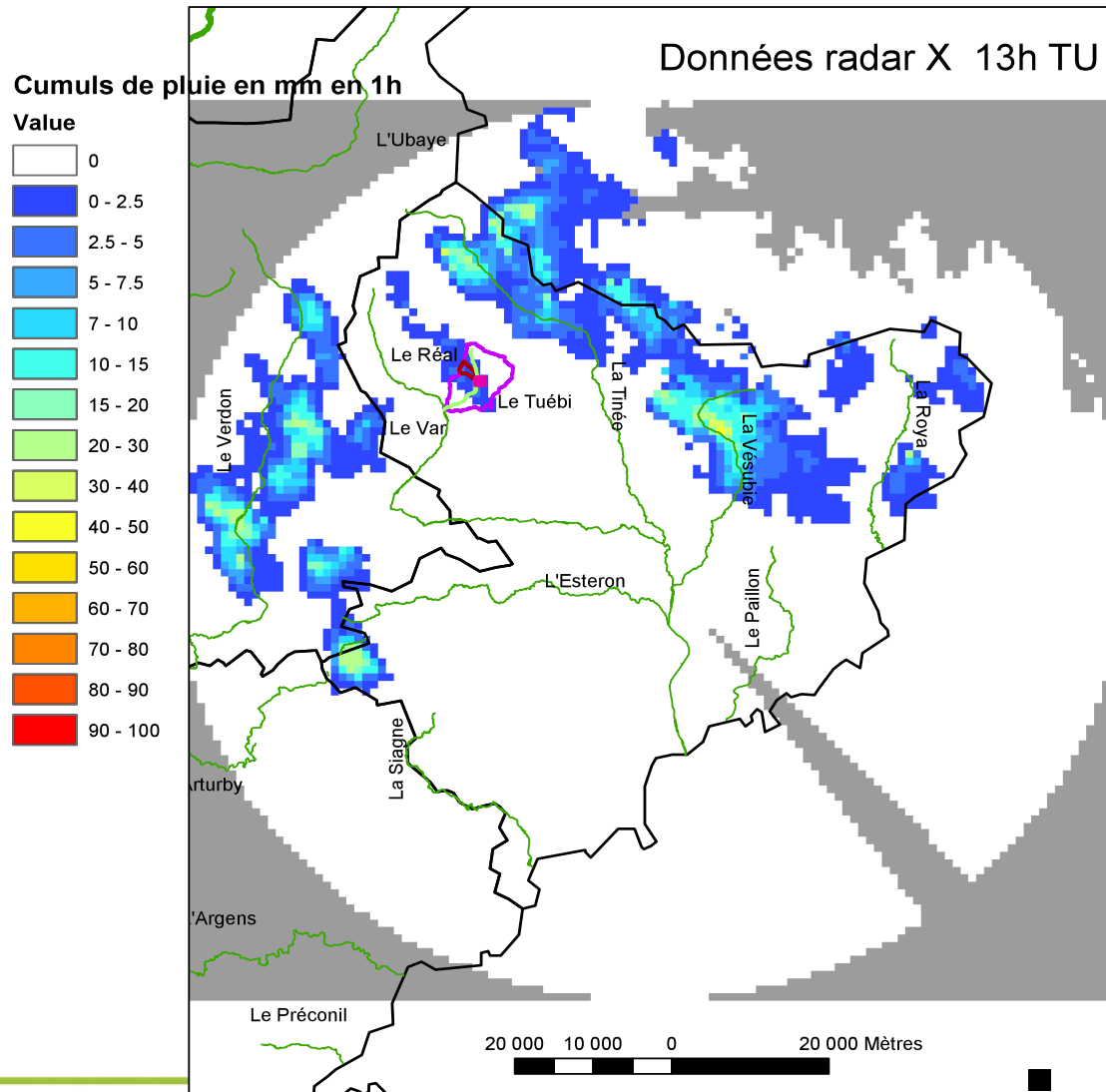


29 juin 2009 entre 11h et 12h (TU)

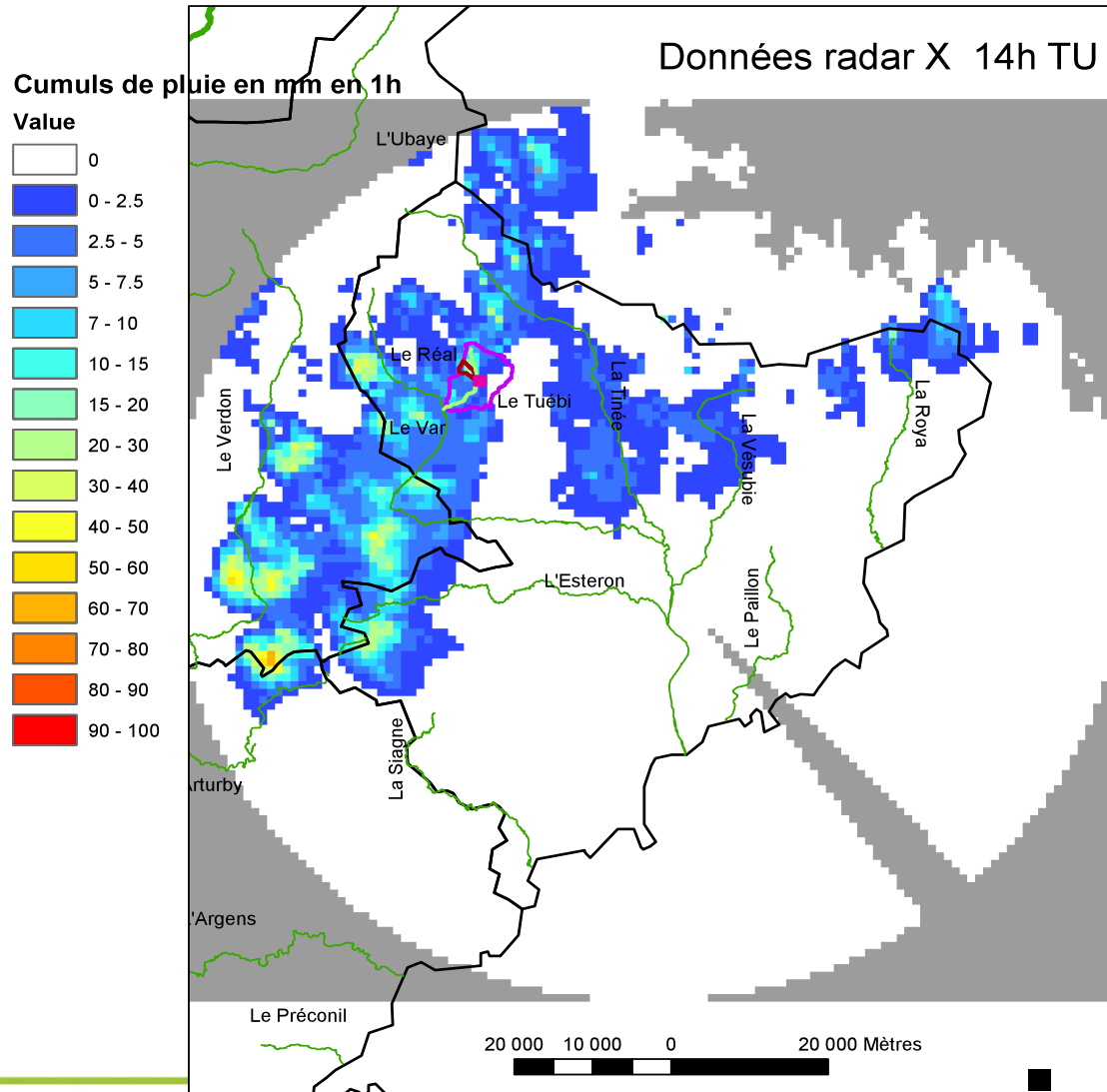


Stephanie.Diss@cemagref.fr

29 juin 2009 entre 12h et 13h (GMT)

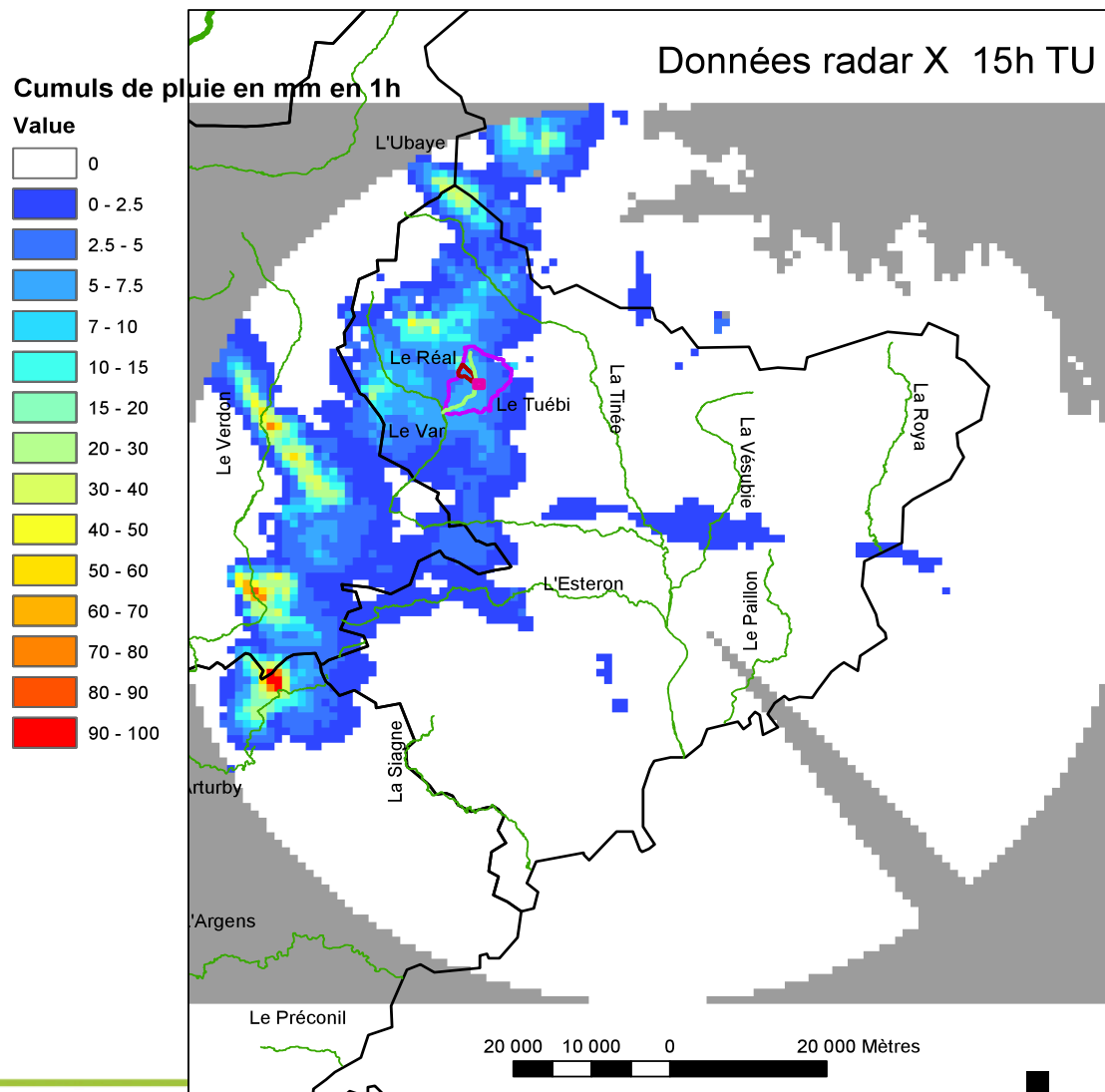


29 juin 2009 entre 13h et 14h (TU)

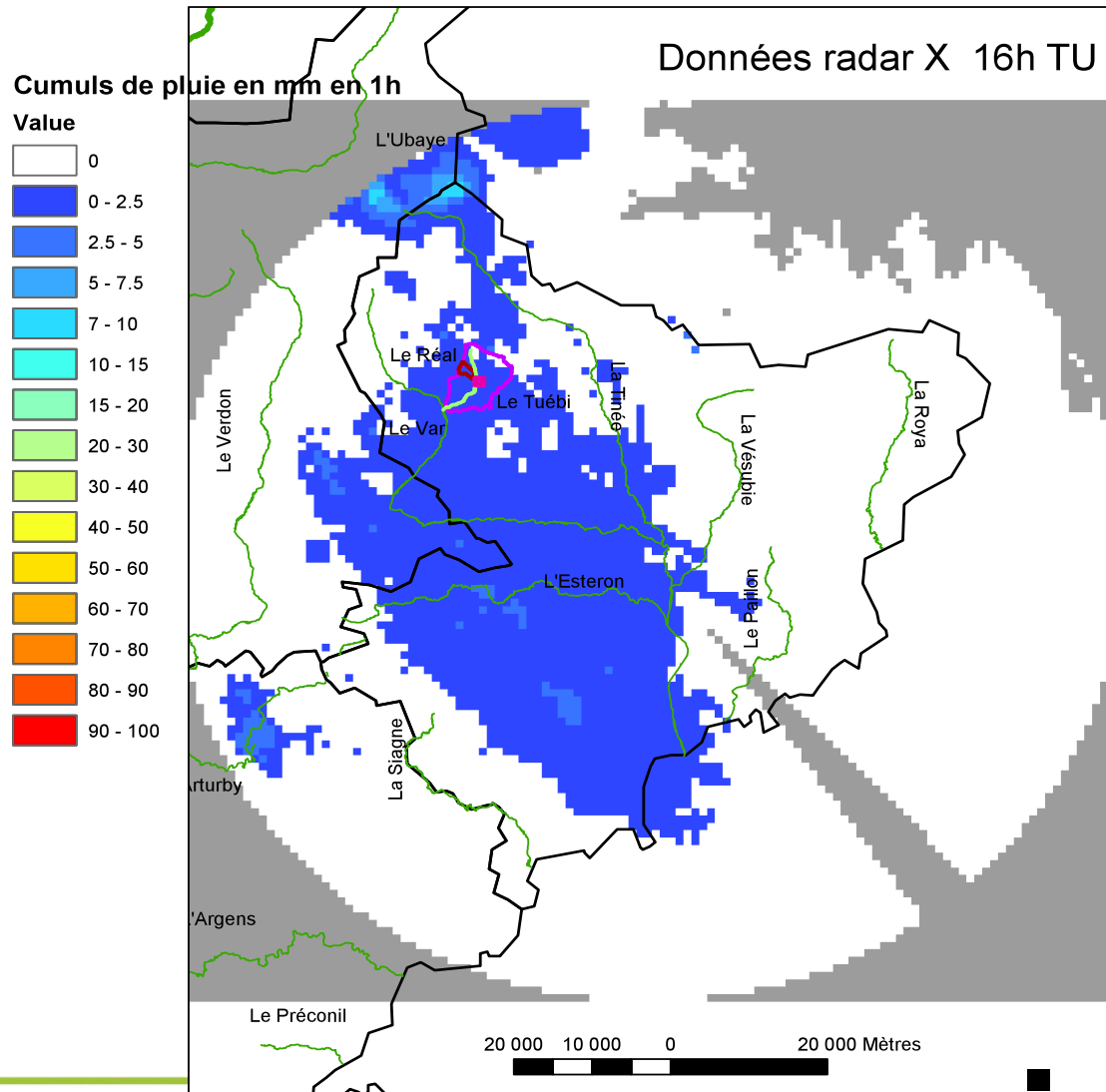


Stephanie.Diss@cemagref.fr

29 juin 2009 entre 14h et 15h (TU)

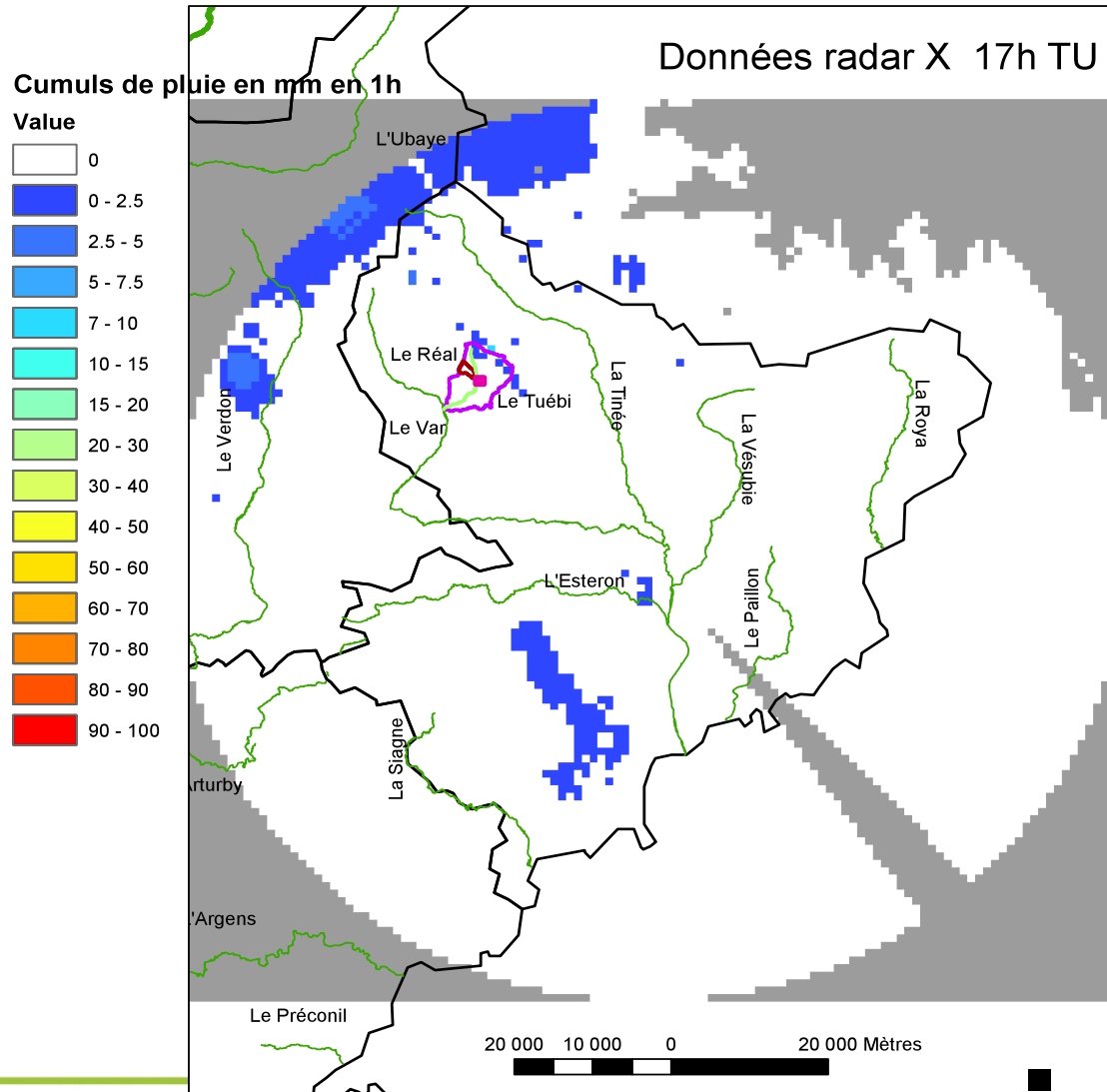


29 juin 2009 entre 15h et 16h (TU)

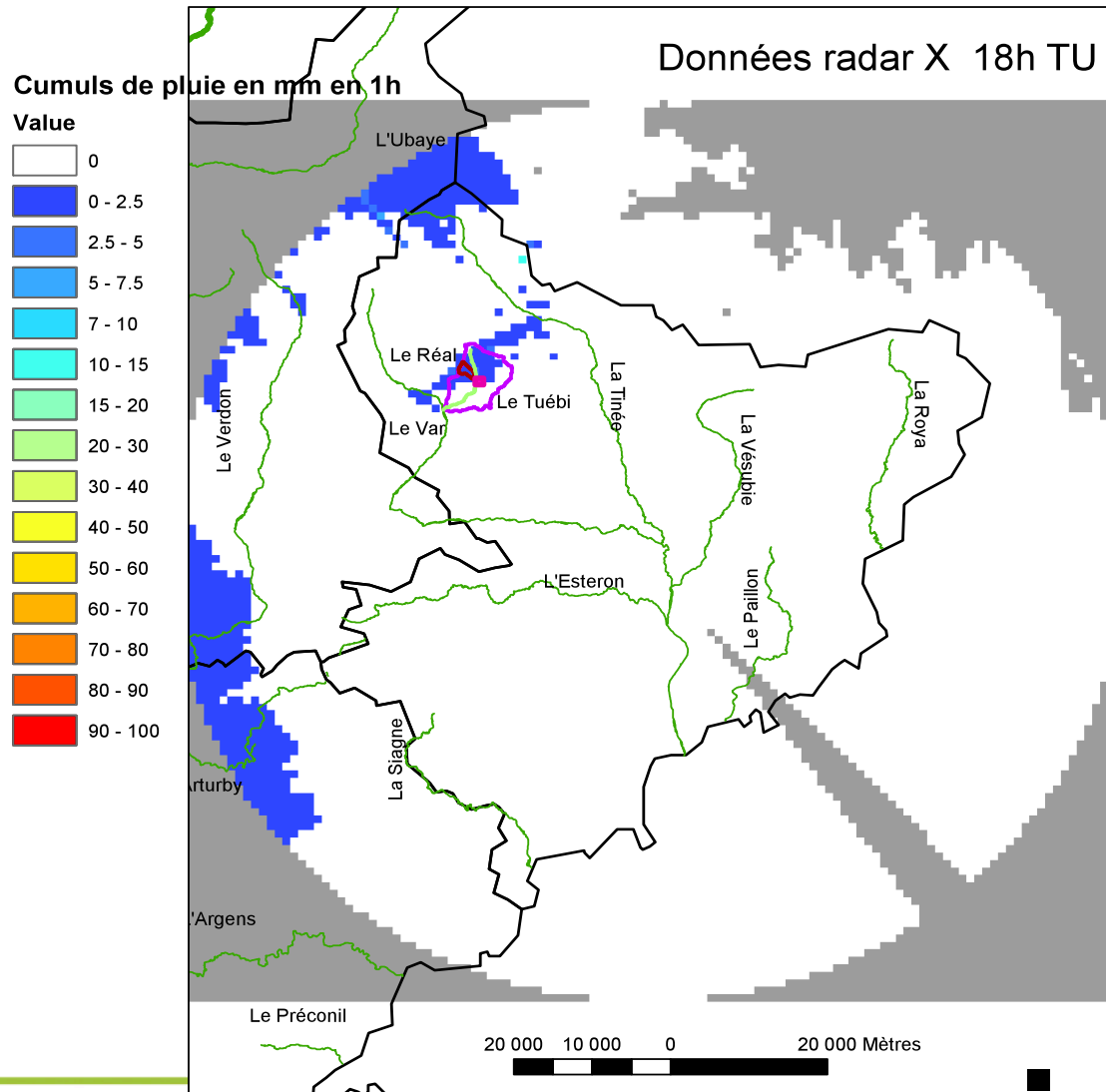


Stephanie.Diss@cemagref.fr

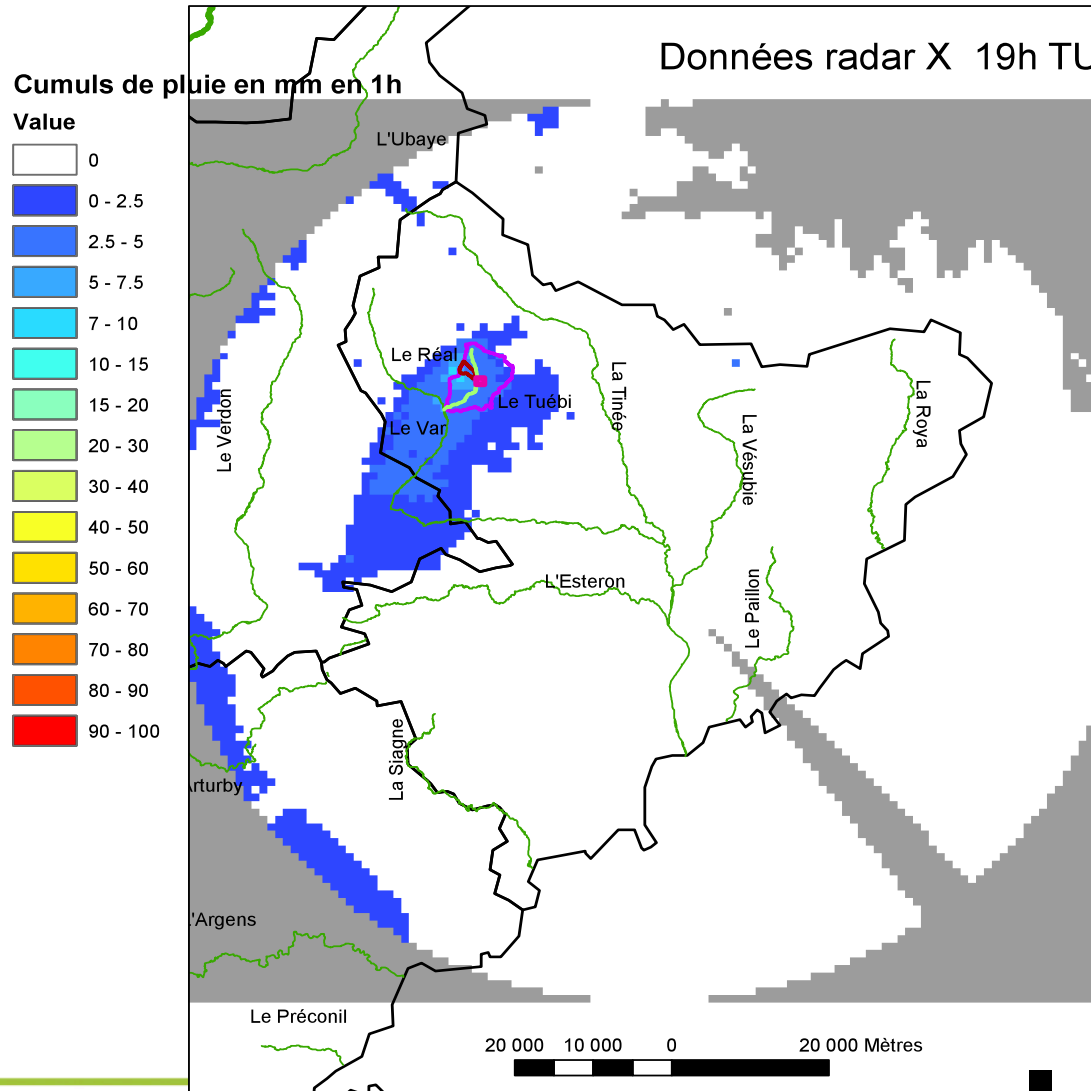
29 juin 2009 entre 16h et 17h (TU)



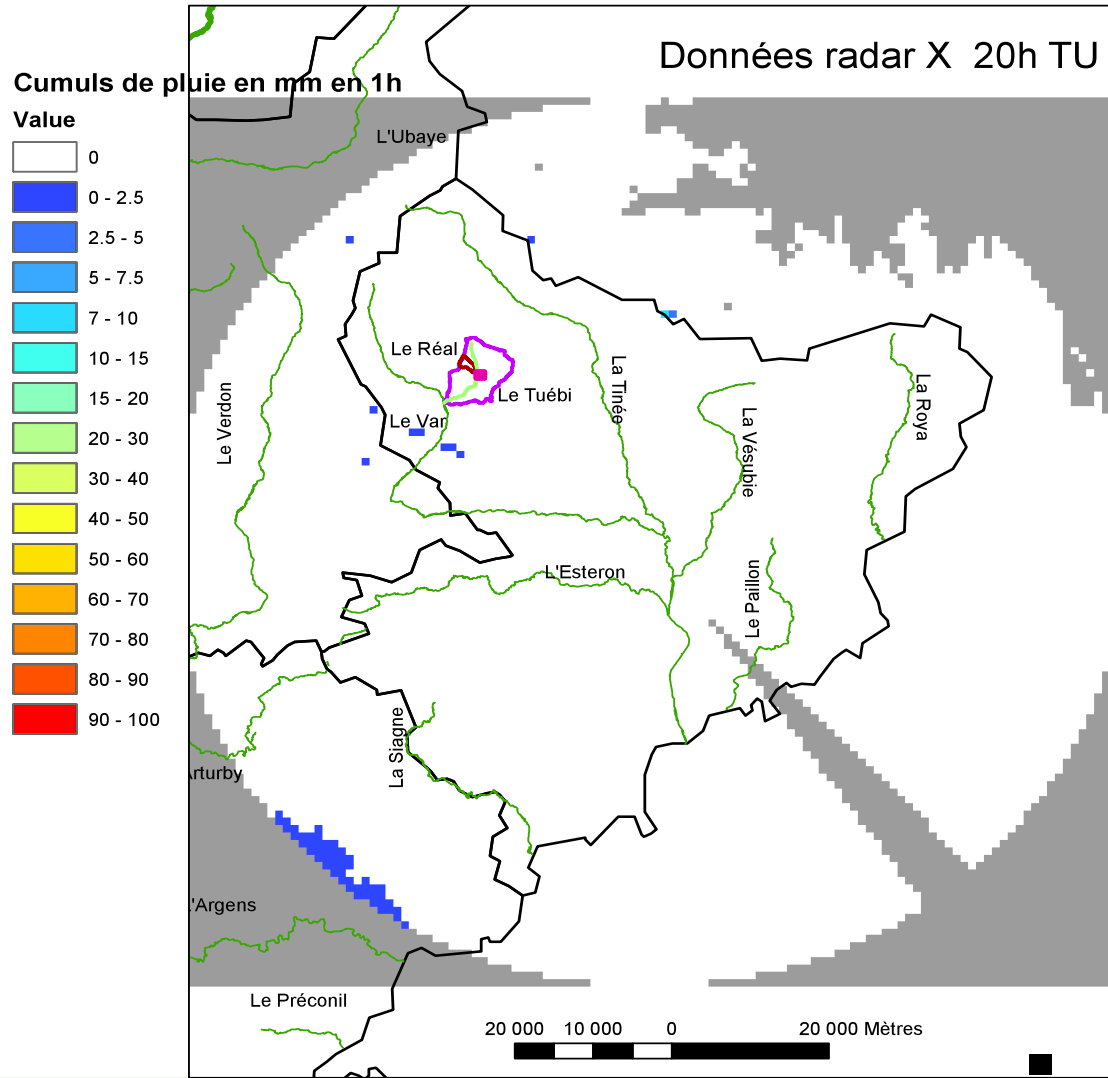
29 juin 2009 entre 17h et 18h (TU)



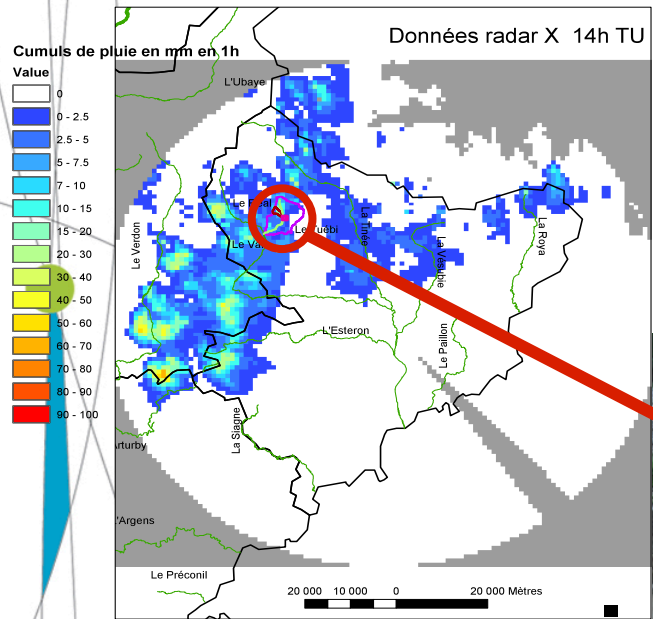
29 juin 2009 entre 18h et 19h (TU)



29 juin 2009 entre 19h et 20h (TU)



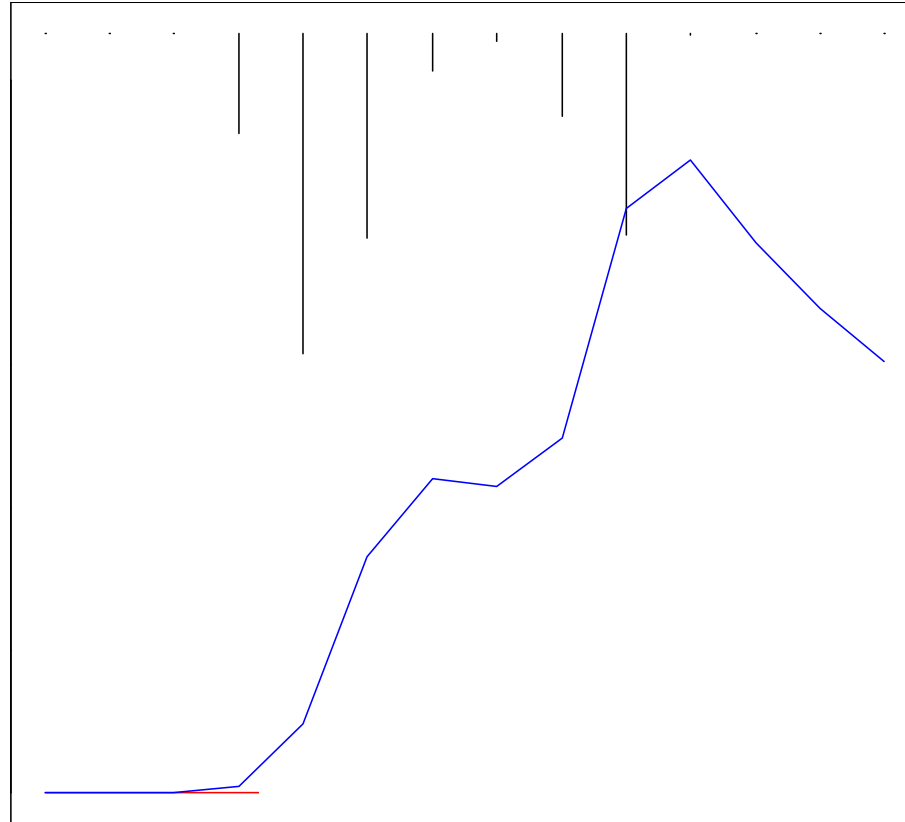
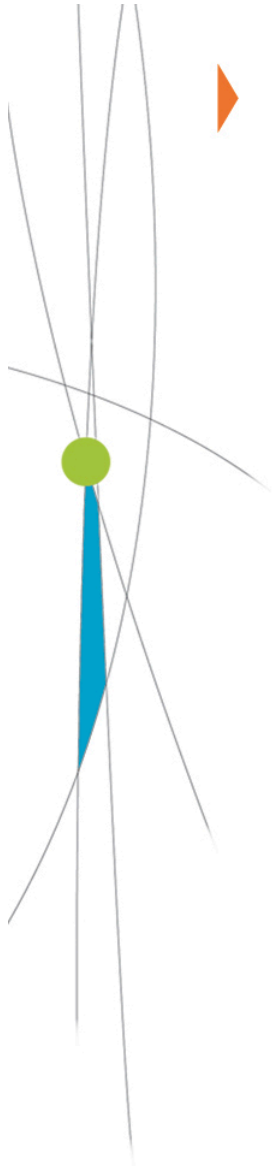
► De la pluie à la crue



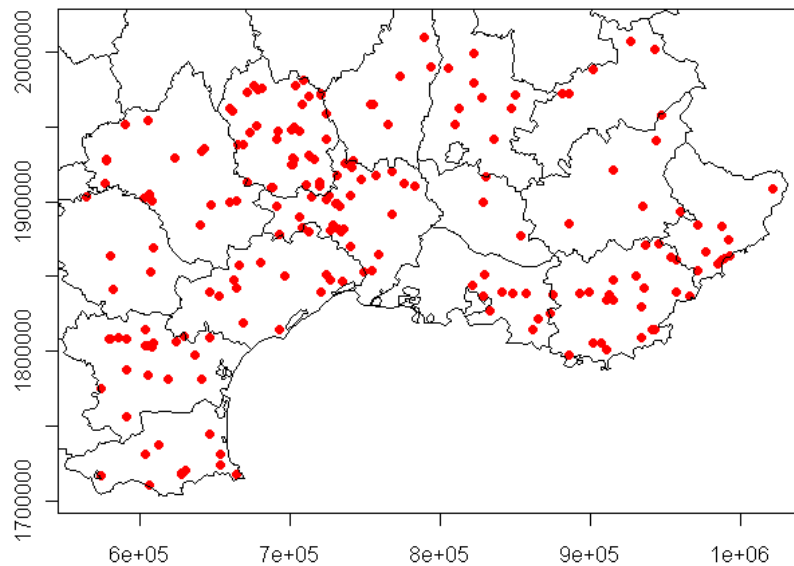
Arrivée de la crue 20 minutes après la pluie !



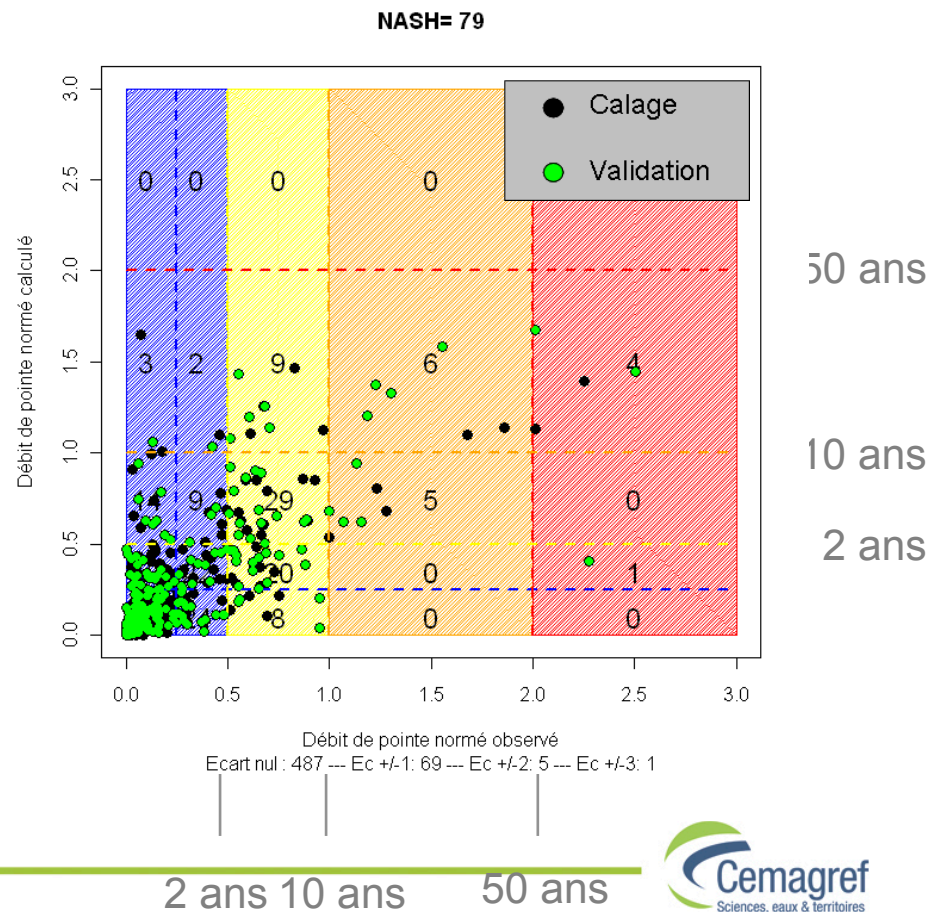
▶ Résultat de la modélisation

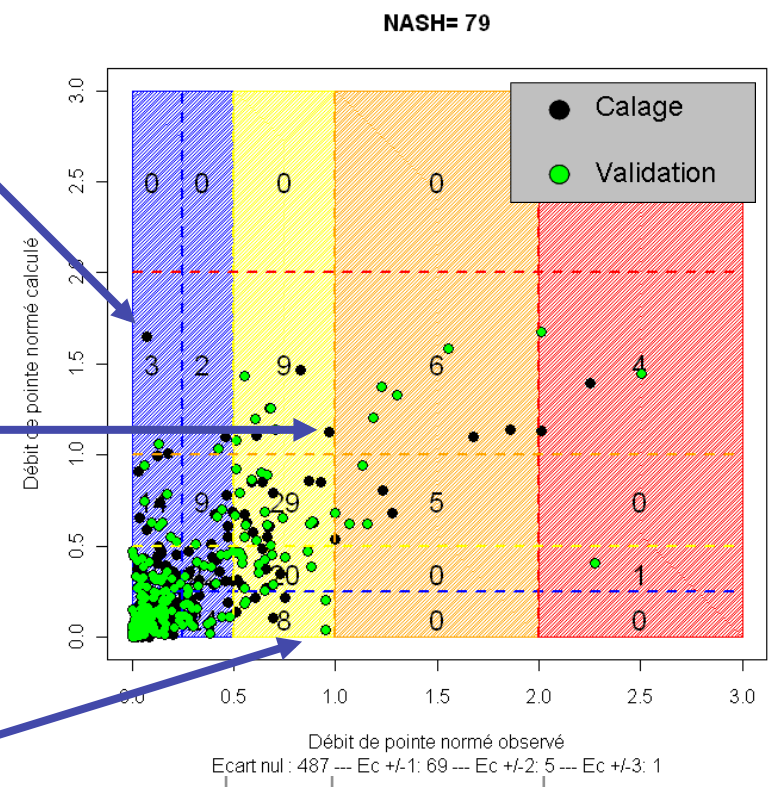
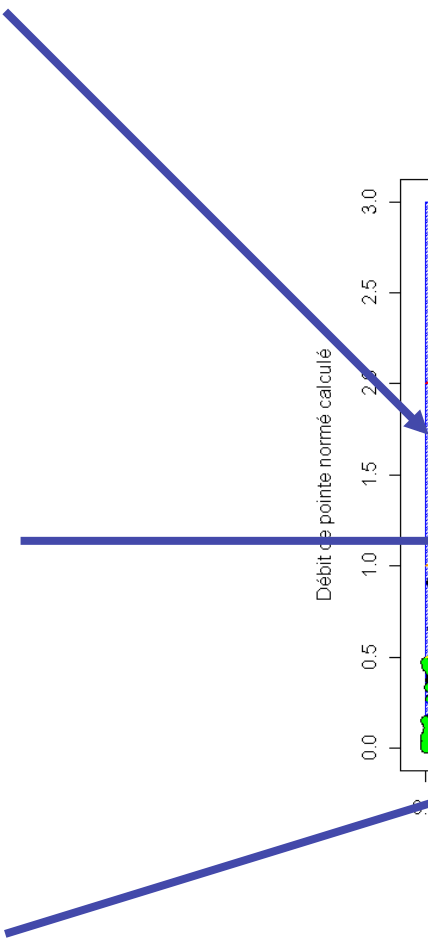
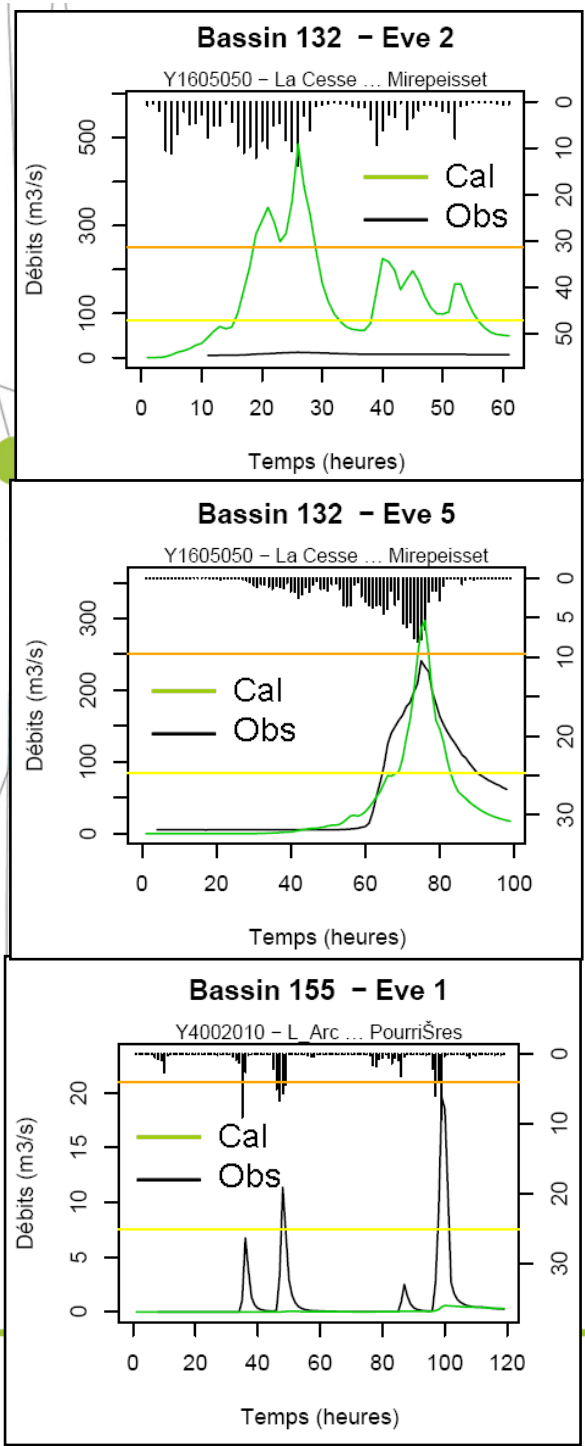


Validation sur des bassins jaugés



- 204 bassins jaugés
- 19 événements entre 2005 et 2009





50 ans
10 ans
2 ans

2 ans 10 ans 50 ans



▶ Conclusion

- **Résultats dépendant de la qualité de la lame d'eau radar**
- **Besoin de données de validation**
- **Travaux en cours sur l'amélioration du modèle**