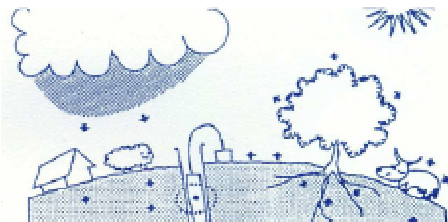


Estimation du bilan hydrologique du Plateau péri-urbain de Saclay : approche par observations



AVIGNON Cécilia (étudiante M2), BERTHIER Emmanuel (CEREMA IdF), MAUGIS Pascal (LSCE)
BEGUINEL Philippe (CEA Saclay), CARDINAL Hervé (SIAVB)



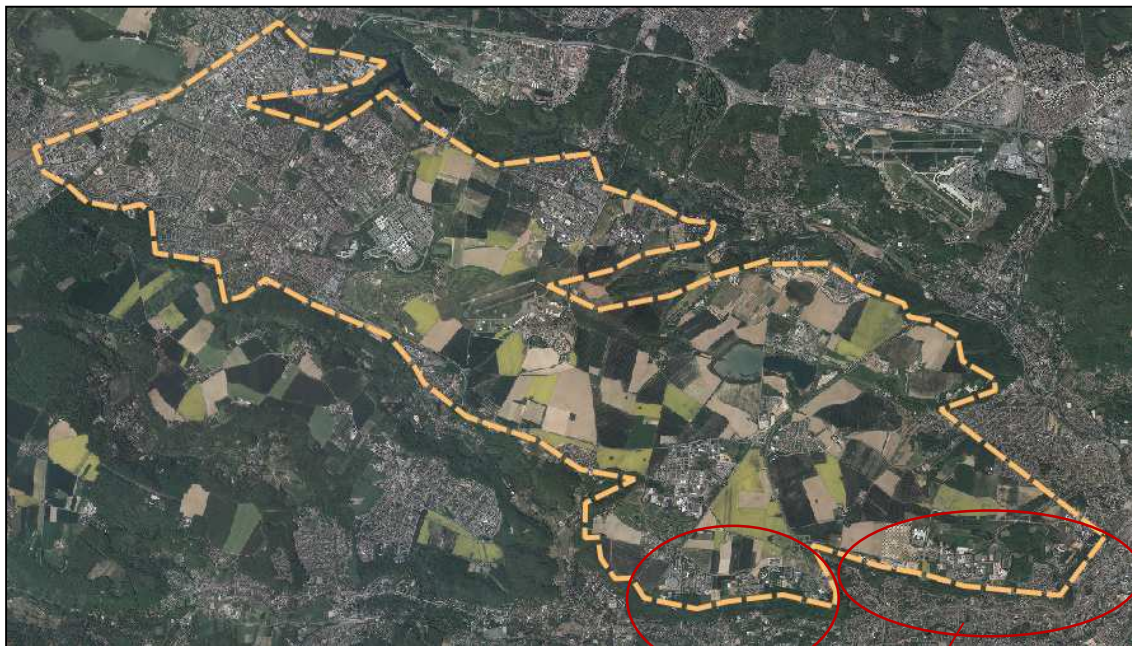
Les Journées scientifiques du GFHN 2015, 40^{ème} anniversaire
24-25 novembre 2015, IFSTTAR Mame-La-Vallée

Changements globaux et transferts hydriques en milieux poreux
mesures et évaluation, adaptation, résilience, applications



INTRODUCTION

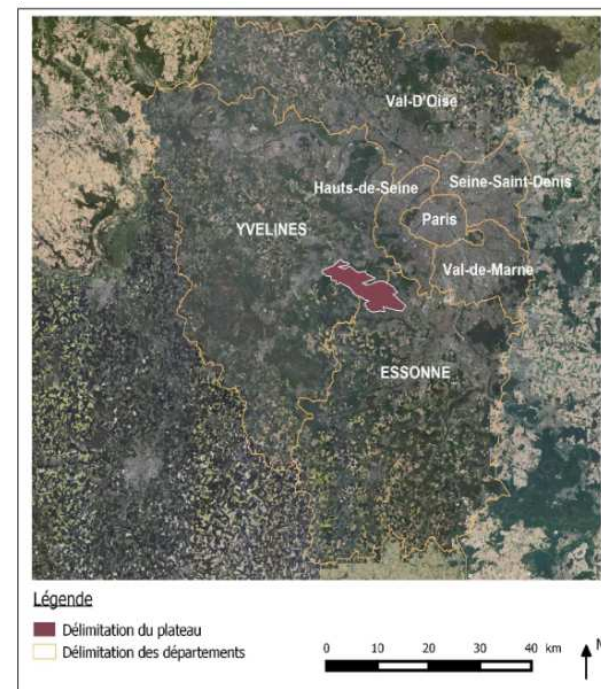
❖ Contexte du stage



Projet d'aménagement : le cluster Paris-Saclay
Source : BD Ortho® 50 cm © IGN; Boré D. et al, 2015

Cluster Paris - Saclay :

- Projet scientifique, économique et urbain,
- Aménagements très denses,
- Objectifs environnementaux multiples :
 - Instaurer la transition énergétique,
 - Maintenir la trame verte et bleue,
 - Limiter la pollution,
 - **Limiter les inondations**
 - **Gestion de l'eau**



INTRODUCTION

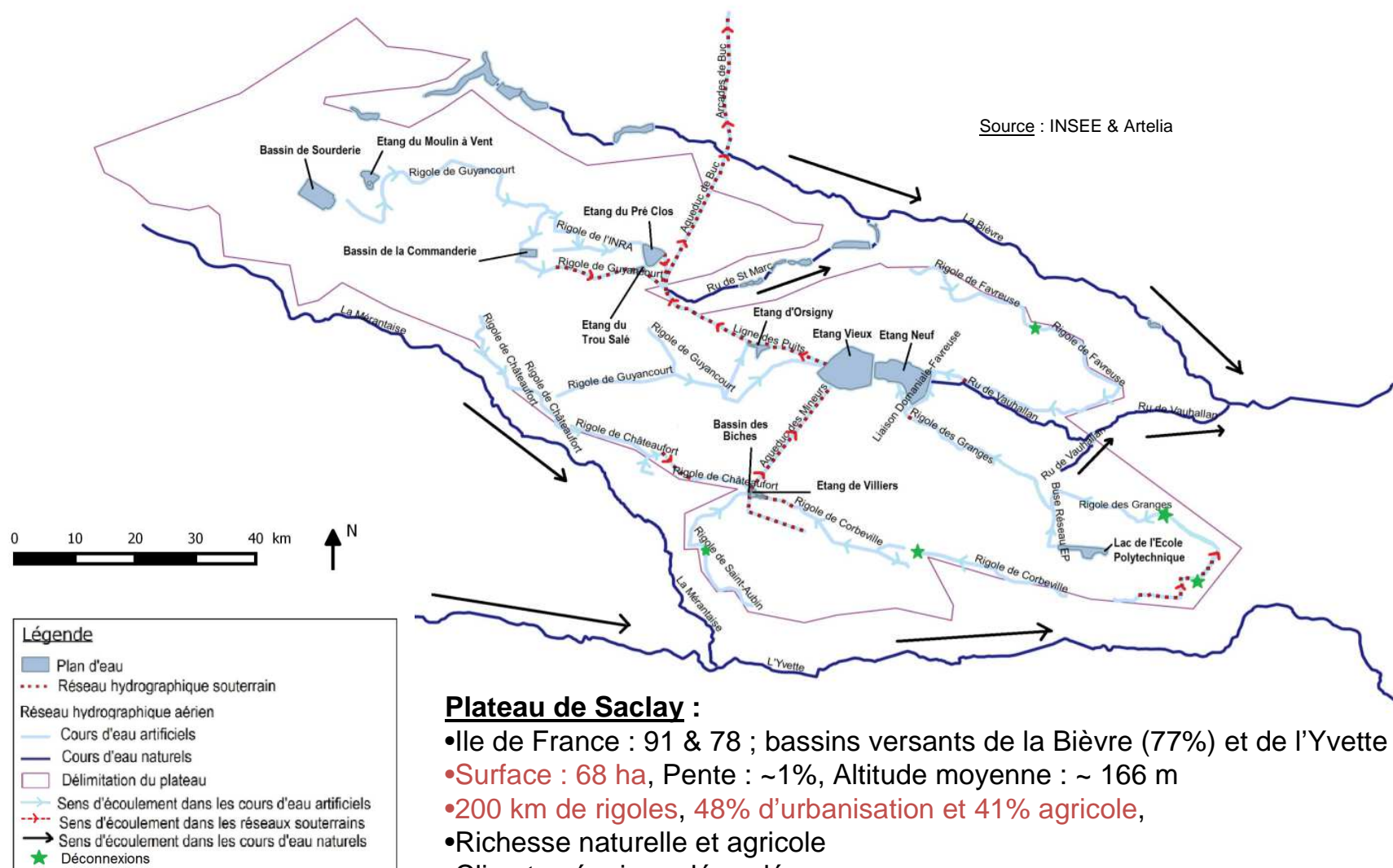
Objectifs du travail :

- Identifier, obtenir et synthétiser les données hydrologiques/ hydrogéologiques disponibles sur le Plateau,
- Analyser, critiquer, valider les données cohérentes et exclure les données douteuses,
- Contribuer à la compréhension du comportement hydrologique et hydrogéologique de la zone d'étude,
- Estimer le bilan hydrologique pluriannuel du Plateau.



Connaissances et données actuelles sur le bilan hydrologique

❖ Présentation de l'hydrosystème Plateau de Saclay

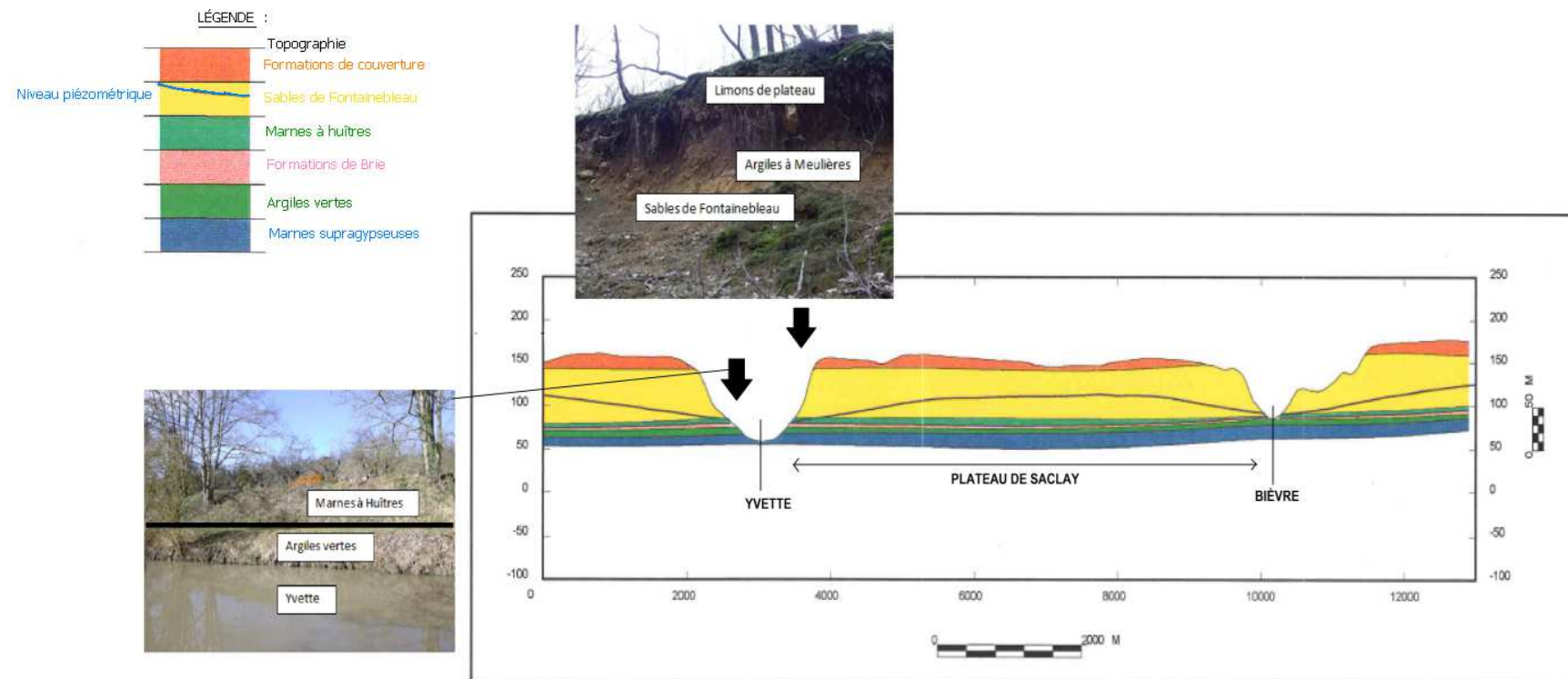


Plateau de Saclay :

- Ile de France : 91 & 78 ; bassins versants de la Bièvre (77%) et de l'Yvette (23%),
- **Surface : 68 ha**, Pente : ~1%, Altitude moyenne : ~ 166 m
- **200 km de rigoles, 48% d'urbanisation et 41% agricole,**
- Richesse naturelle et agricole
- Climat océanique dégradé

Connaissances et données actuelles sur le bilan hydrologique

❖ Présentation de l'hydrosystème Plateau de Saclay



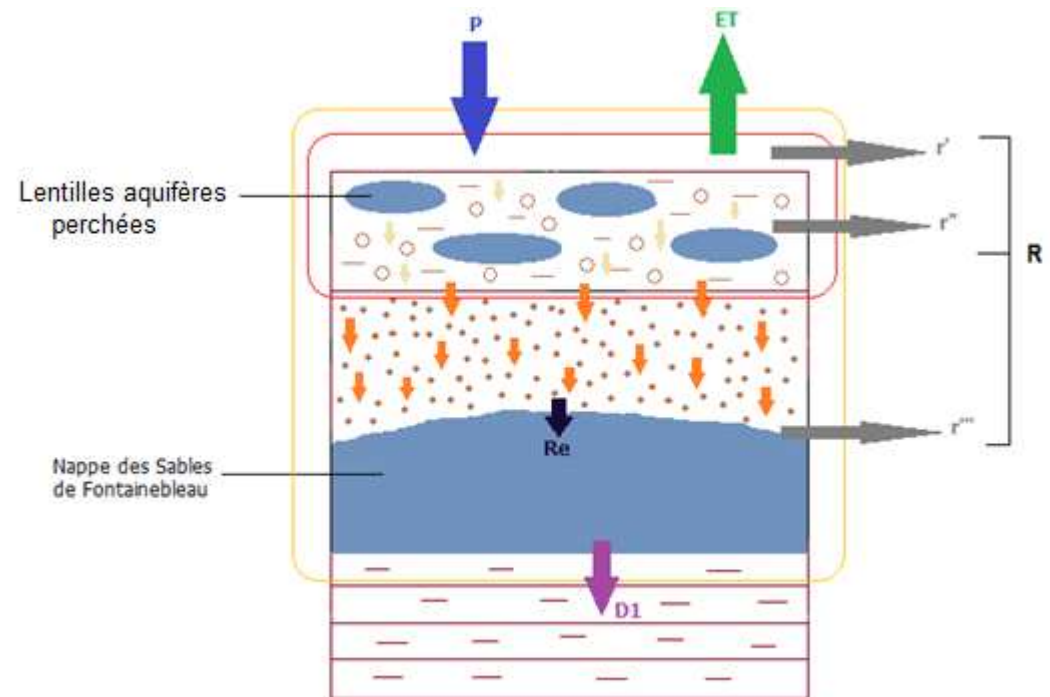
- Formation superficielle, puis Sable de Fontainebleau,
- Dans les formations superficielles, distinction des Limons des plateaux, Sable de Lozère + Argile à meulière à blocs, et Argile à meulière compacte plastique
- 2 nappes :
 1. Lentilles aquifères perchées → « Nappe » superficielle
 2. Nappe des Sables de Fontainebleau

Connaissances et données actuelles sur le bilan hydrologique

❖ Définition des bilans hydrologiques

$$P = R + ET \pm \Delta S$$

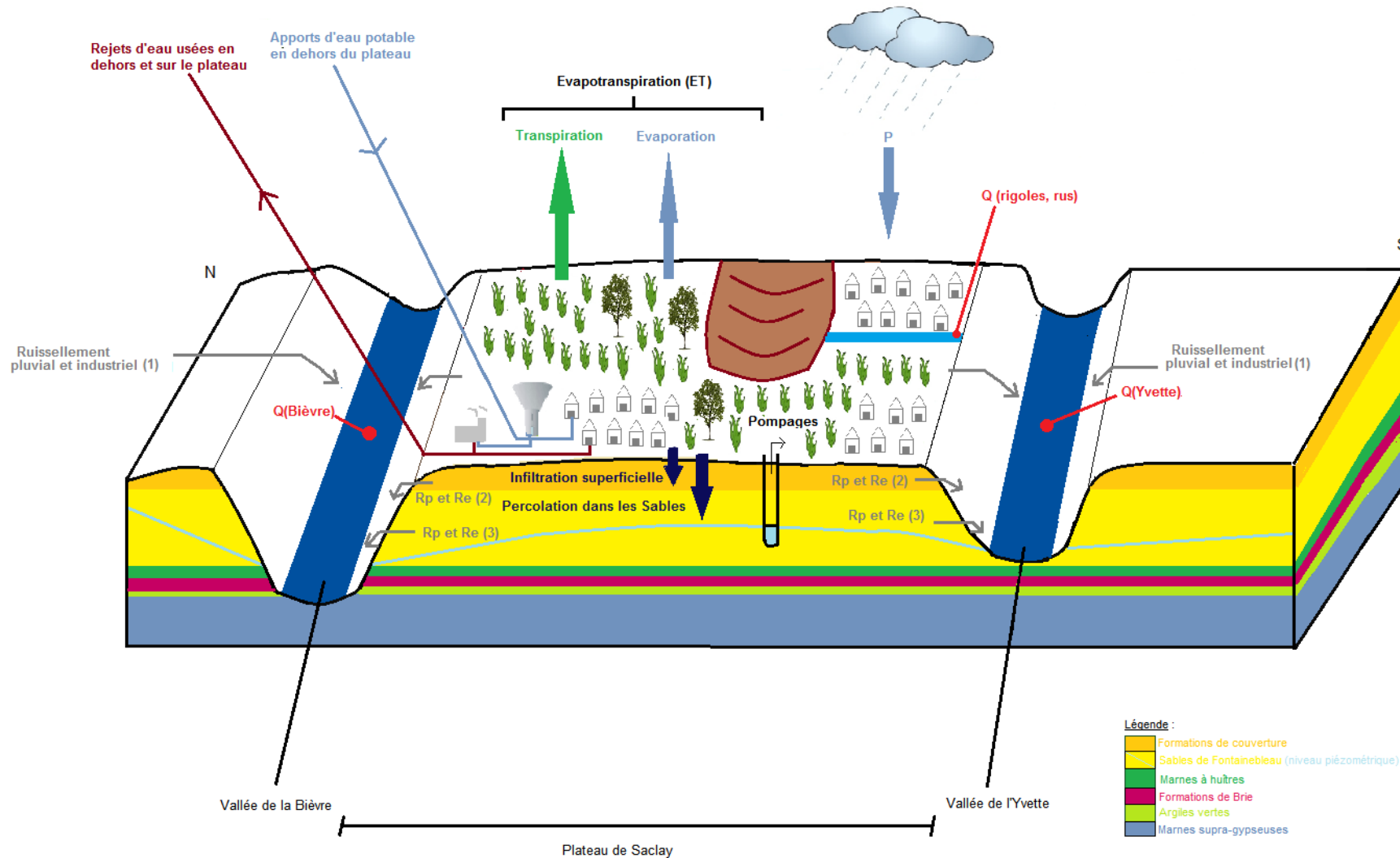
- Basé sur l'équation de continuité
- Dépend de :
 1. Échelle spatiale : volume de contrôle
 2. Échelle temporelle
 3. Fiabilité des données



Exemple de bilan hydrologique

Connaissances et données actuelles sur le bilan hydrologique

❖ Définition des bilans hydrologiques en contexte péri-urbain



➔ Données supplémentaires à prendre en compte

Connaissances et données actuelles sur le bilan hydrologique

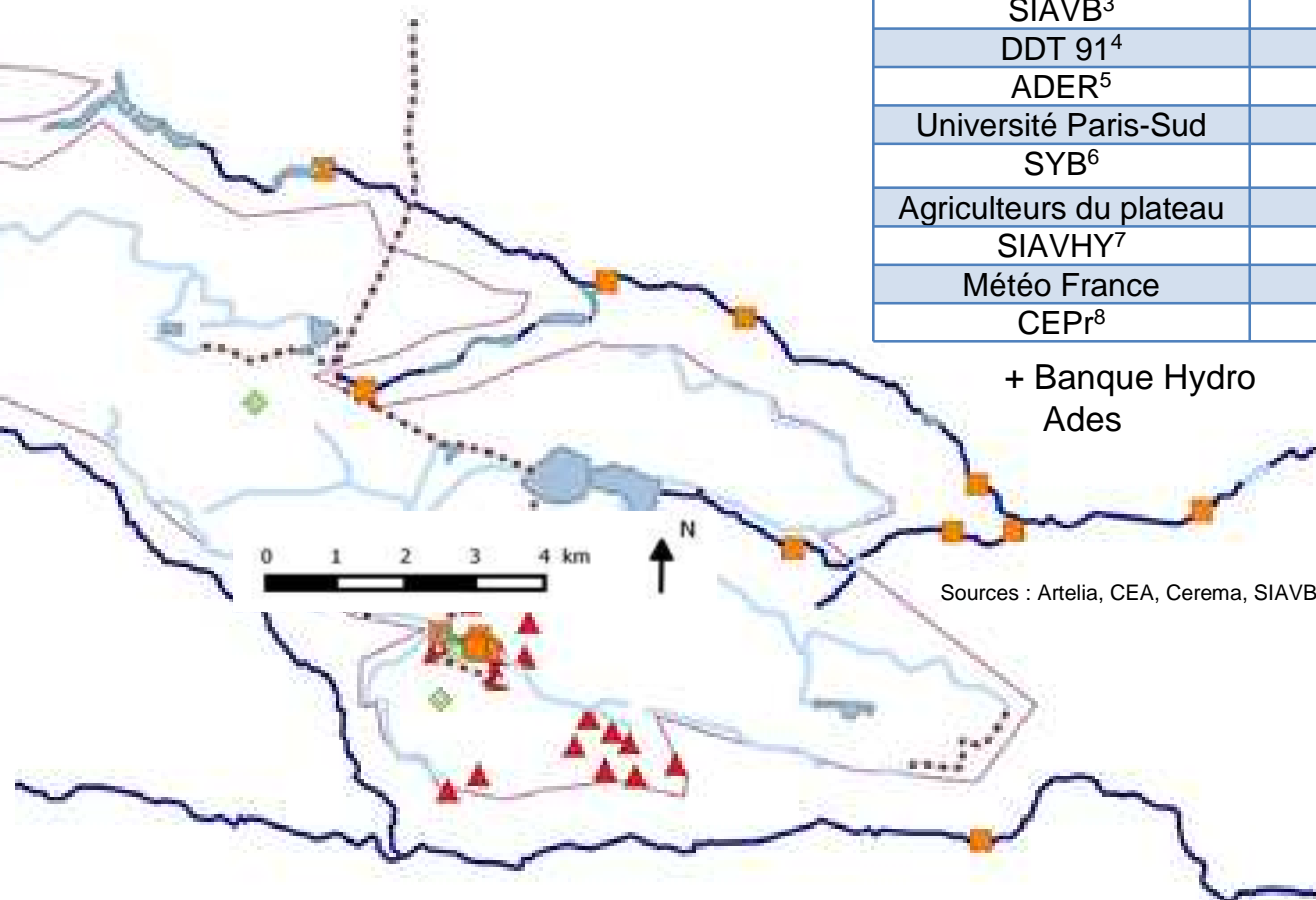
❖ Acquisition des données

- 5 pluviomètres,
- 1 station d'ETP,
- 18 stations débitométriques,
- 21 piézomètres dont 3 à secs

| Organismes rencontrés | Données obtenues |
|--------------------------|------------------|
| Cerema (Trappes) | ✓ |
| Cerema (Le Bourget) | ✓ |
| EPPS ¹ | ✗ |
| CEA Saclay ² | ✓ |
| Association Terre & Cité | ✗ |
| SIAVB ³ | ✓ |
| DDT 91 ⁴ | ✗ |
| ADER ⁵ | ✗ |
| Université Paris-Sud | ✗ |
| SYB ⁶ | ✗ |
| Agriculteurs du plateau | ✗ |
| SIAVHY ⁷ | ✗ |
| Météo France | ✓ |
| CEPr ⁸ | ✗ |

+ Banque Hydro
Ades

Sources : Artelia, CEA, Cerema, SIAVB & INSEE



Connaissances et données actuelles sur le bilan hydrologique

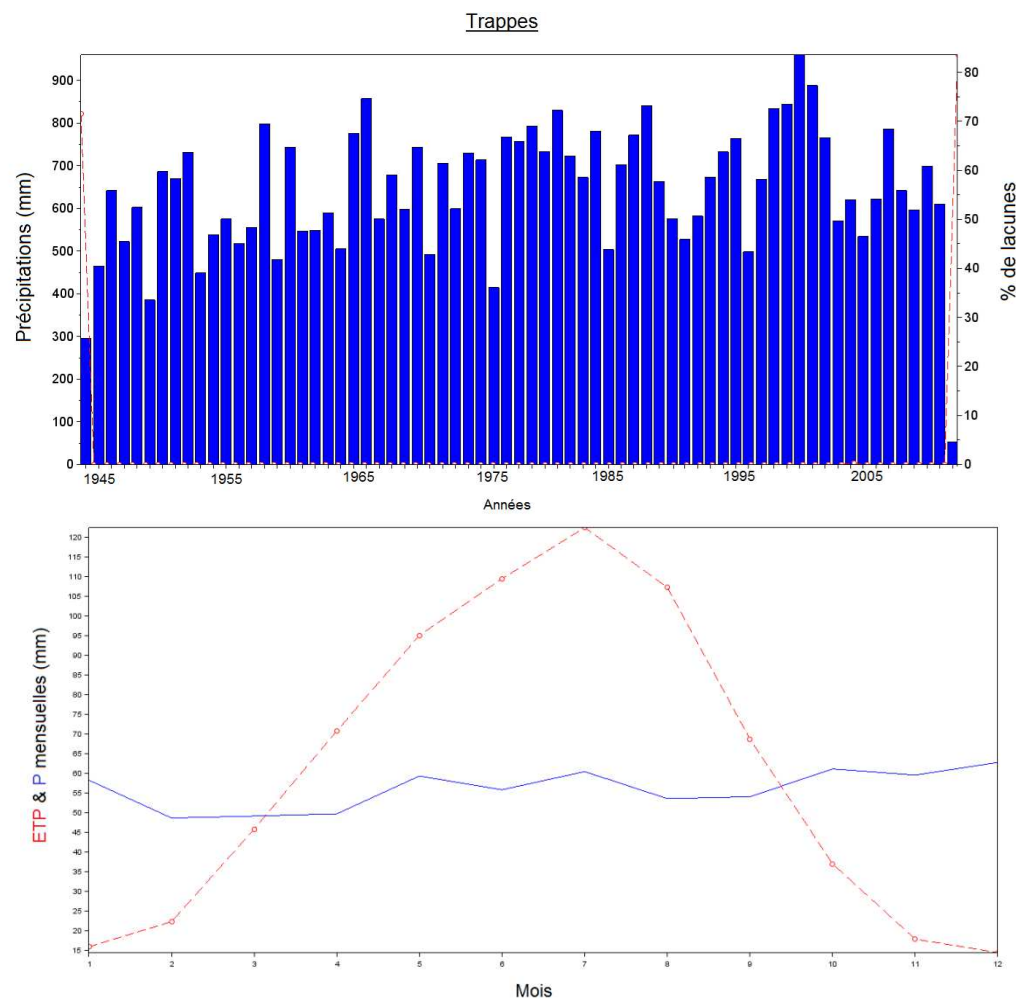
❖ Instauration d'hypothèses

- ETP de Trappes correspond à la moyenne du plateau,
- Dynamique piézométrique identique sur l'ensemble du plateau,
- Pompages des particuliers et industriels négligés,
- Apports en eau potable et rejets en eaux usées se compensent pour les habitations,
- Néglige les Eaux usées des stations d'épuration privées rejetées sur le plateau
- Prise en compte des apports en eau potable pour le CEA Saclay

Estimation de flux et stocks du Plateau de Saclay

❖ Pluies et ETP

- Homogénéité des pluies et ETP sur le Plateau
- P moyenne annuelle ~ 663 mm/an
- ETP moyenne annuelle ~ 728 mm/an



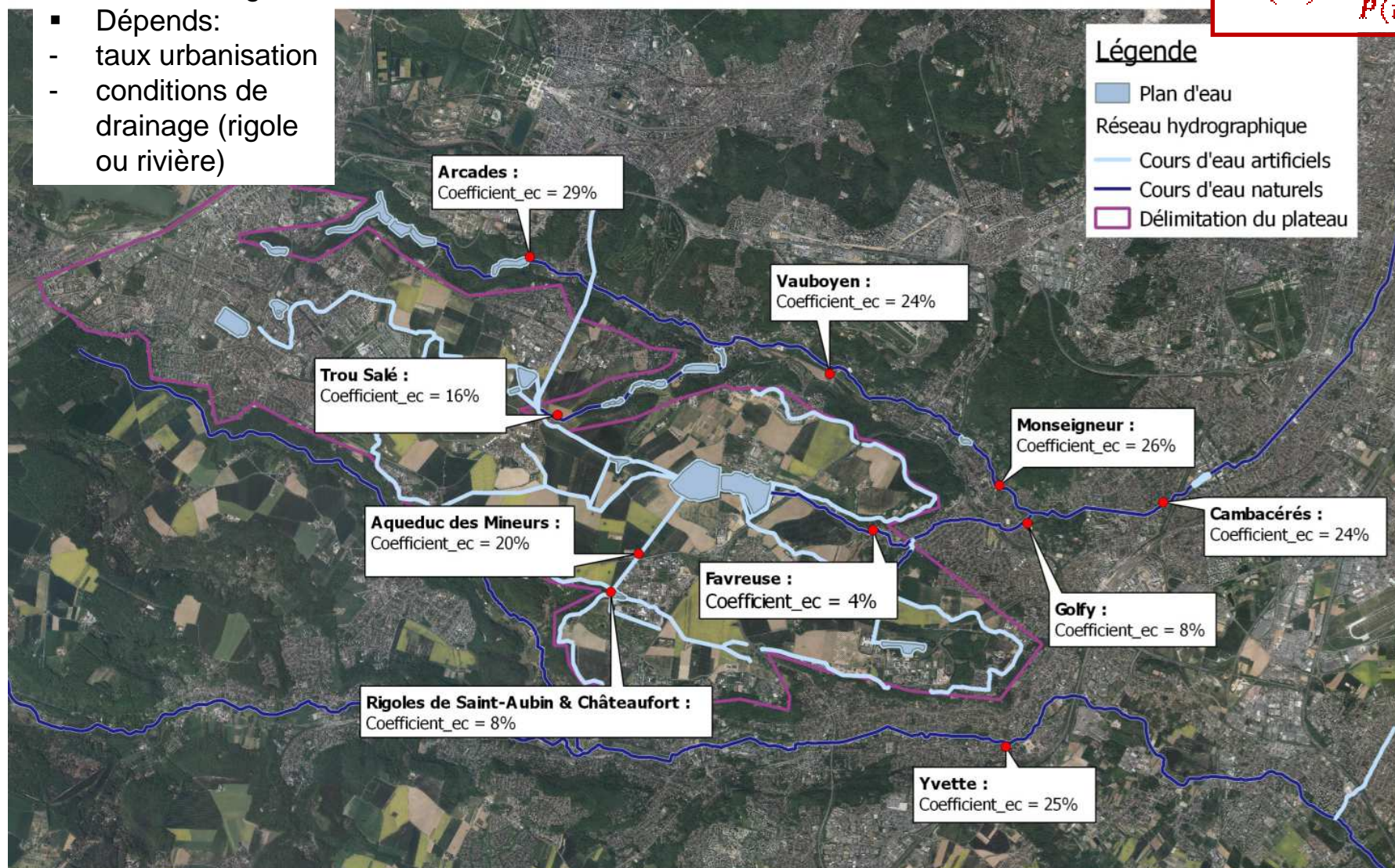
- Pluviométrie mensuelle constante
- ETP mensuelle caractéristique d'un climat océanique dégradé

Estimation de flux et stocks du Plateau de Saclay

❖ Écoulements dans les rivières et rigoles

$$C_e (\%) = \frac{Q (mm)}{P (mm)}$$

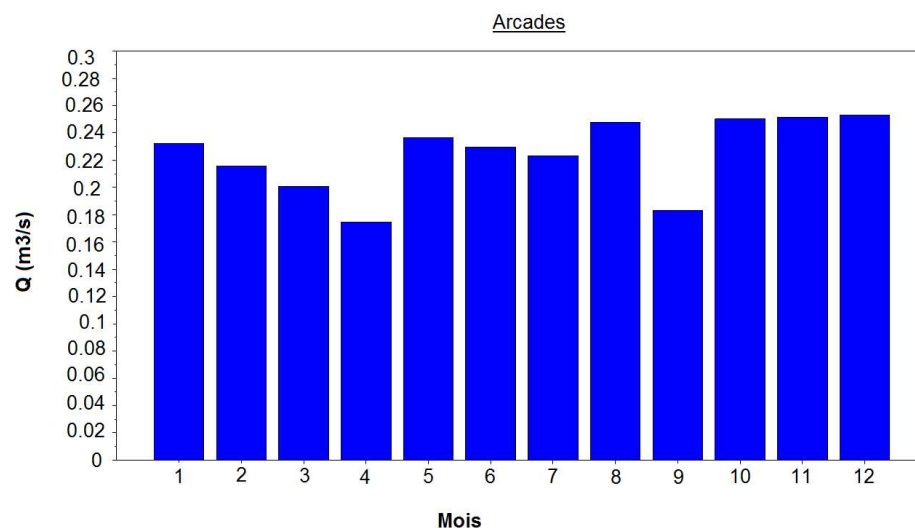
- Très hétérogène
- Dépend de:
 - taux d'urbanisation
 - conditions de drainage (rigole ou rivière)



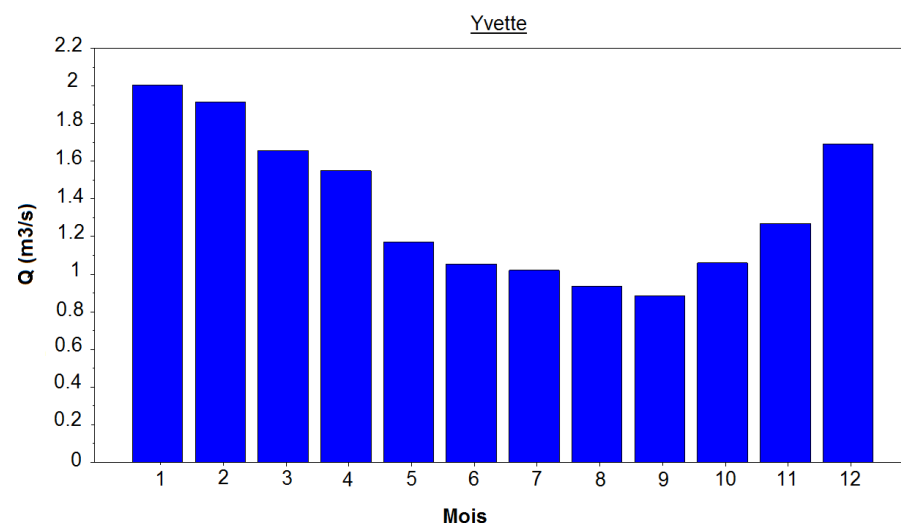
Estimation de flux et stocks du Plateau de Saclay

❖ Écoulements dans les rivières et rigoles

Mise en avant de la signature du milieu urbain :



Taux d'urbanisation : 47.5 %
Composante saisonnière : peu marquée =
comme la pluie

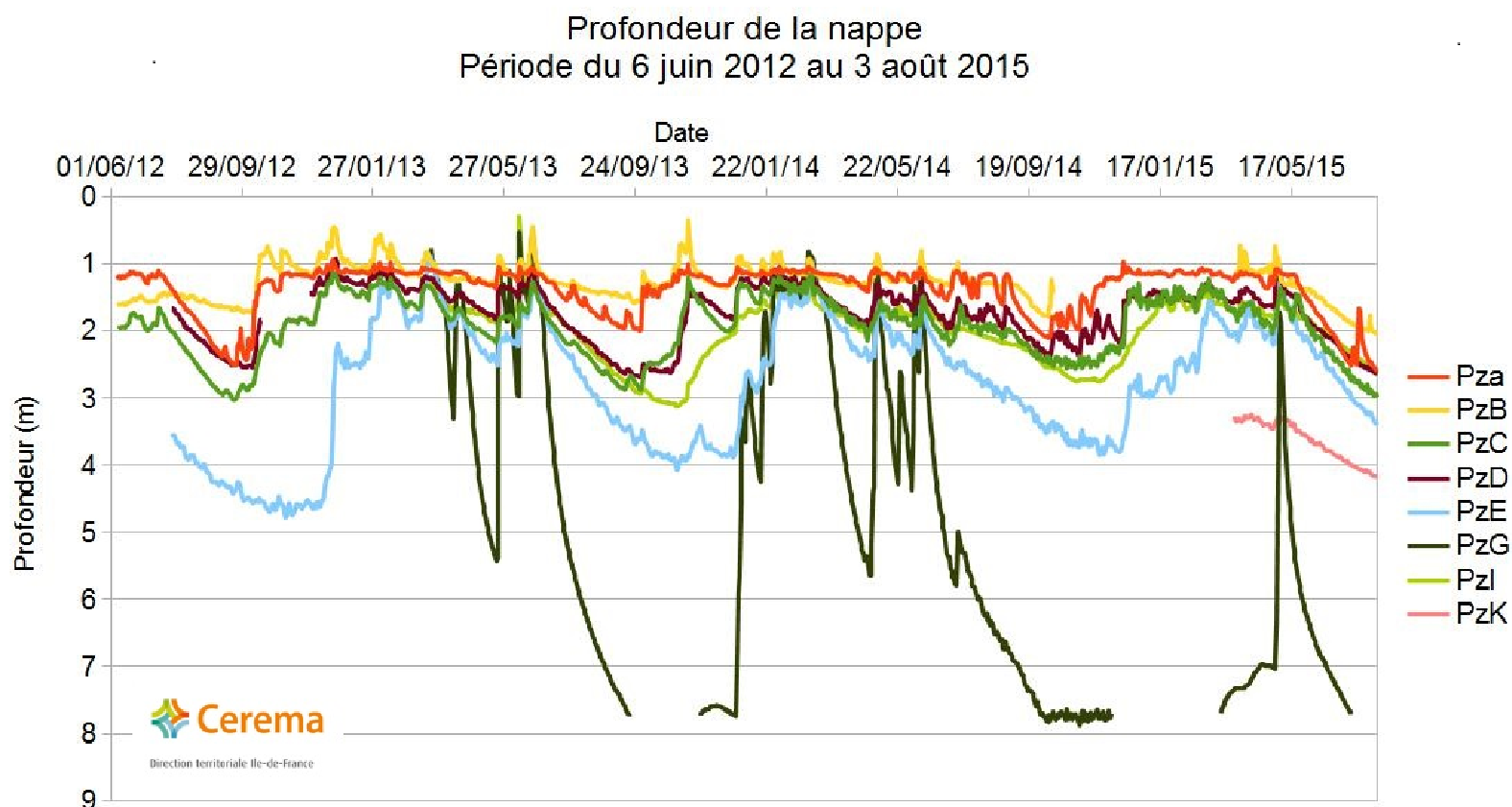


Taux d'urbanisation : 19 %
Composante saisonnière : très marquée =
comme l'ETP

- Variations mensuelles dépendantes des liens avec les eaux de sub-surface et le taux d'urbanisation

Estimation de flux et stocks du Plateau de Saclay

❖ Estimation de la « recharge » de la nappe superficielle



Estimation de flux et stocks du Plateau de Saclay

❖ Estimation de la « recharge » de la nappe superficielle

Fluctuations du niveau de la nappe (mNGF)

Valeur journalière - Période du 6 juin 2012 au 3 août 2015

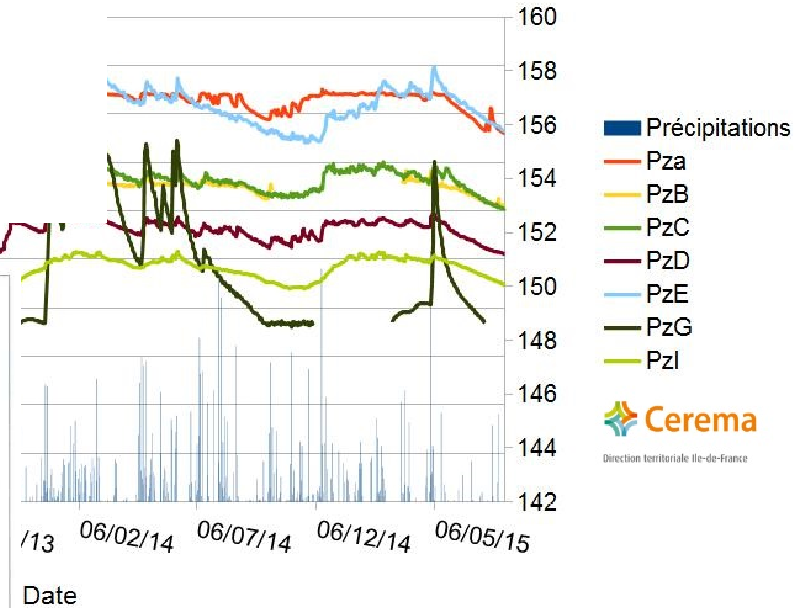
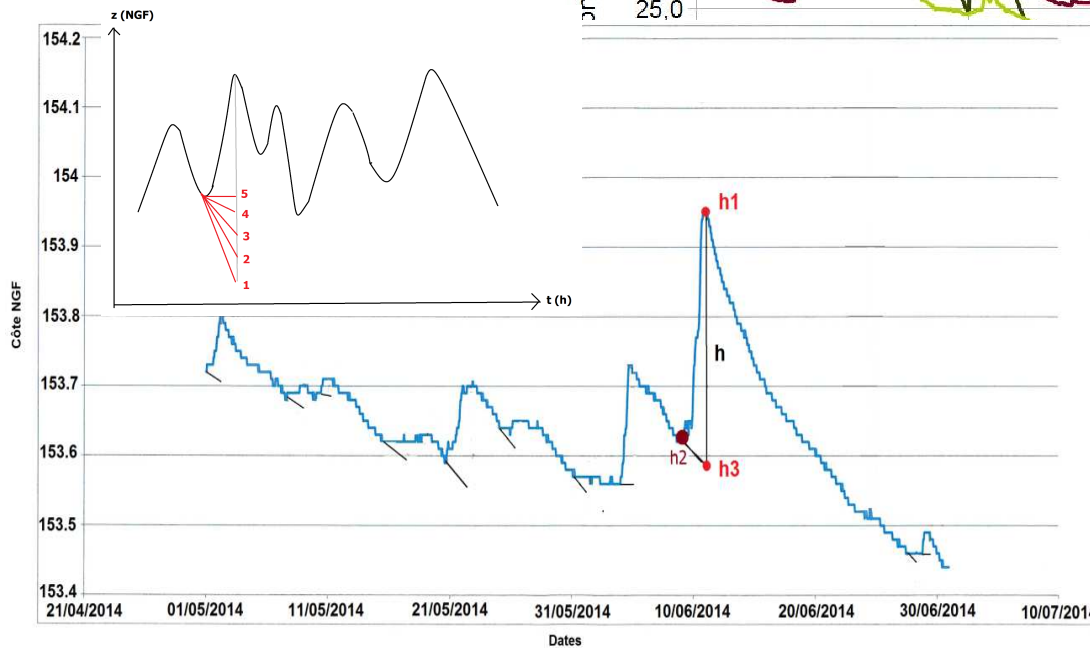
Méthode WTF :

$$Re \text{ ou } I = Sy \times \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Sy : rendement spécifique (sans unité)

Δh : augmentation des niveaux d'eau (mm)

Δt : pas de temps (h)



Incertitudes :

- méthode qui fonctionne uniquement quand les niveaux augmentent
- hypothèse sur la « drainage » de la nappe en période de recharge
- **Valeur du Sy prise**

Estimation de flux et stocks du Plateau de Saclay

❖ Estimation de la « recharge » de la nappe superficielle

| En prenant une échelle horaire | <u>Re</u> (sans prolongement) avec toutes les incertitudes et sans les pics douteux du <u>pzb</u> et <u>pzi</u> | <u>Re</u> (avec prolongement) avec toutes les incertitudes sauf les plats qui n'en sont pas et les pics douteux du <u>pzb</u> et du <u>pzi</u> |
|--------------------------------|--|---|
| Année 2013 (01/01 - 31/12) | 138,15 | 219,556 |
| % année 2013 | 17,94 | 28,52 |
| Année 2014 (01/01 - 03/12) | 134,35 | 225,236 |
| % année 2014 | 17,03 | 28,55 |

Dans la littérature, Sy pour un Limon peut varier entre:

0,03

| En prenant une échelle horaire | <u>Re</u> (sans prolongement) avec toutes les incertitudes et sans les pics douteux du <u>pzb</u> et <u>pzi</u> | <u>Re</u> (avec prolongement) avec toutes les incertitudes sauf les plats qui n'en sont pas et les pics douteux du <u>pzb</u> et du <u>pzi</u> |
|--------------------------------|--|--|
| Année 2013 (01/01 - 31/12) | 886,35 | 1212,386 |
| % année 2013 | 115,13 | 157,47 |
| Année 2014 (01/01 - 03/12) | 840,75 | 1145,899 |
| % année 2014 | 106,56 | 145,23 |

0,19

- Résultats peu satisfaisants : gamme de valeurs trop grande
- Sy : paramètre clé de la méthode WTF
 - Sy trop élevé : valeurs aberrantes
 - Sy minimum : limite inférieure

Conclusions

❖ Estimation du bilan annuel du Plateau de Saclay

$$P = R + ET + [\Delta S(\text{nappe_superficielles}) + \Delta S(\text{nappe_sables})] - \Delta U_{\text{industriels}}$$

Hypothèses :

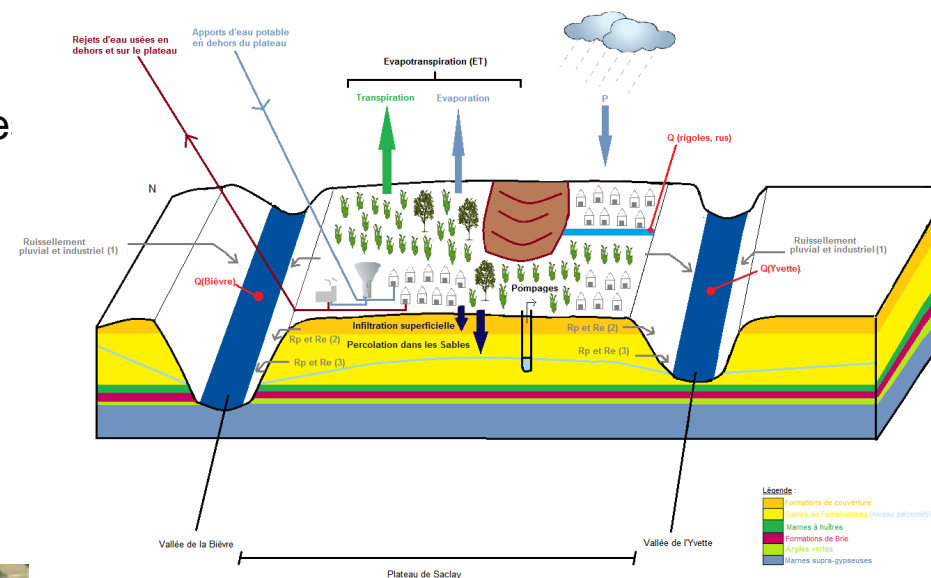
- Variations de stock en surface négligées (flaques, mares),
- Variations de stock dans les zones non saturées négligées,
- Drainance négligeable des Sables vers les Calcaires de Brie,
- Sy moyen utilisé (0.21 Sable et 0.08 Limon)

| | Moyen | Minimum | Maximum | 2013 |
|--|--------------|----------------|----------------|-------------|
| R Écoulement (%) | 24.5 | 27.9 | 21.2 | 26.9 |
| S (formations superficielles) (%) | 0 | 11.7 | -11.7 | -11.7 |
| ΔS (nappe des Sables) (%) | 0.24 | 6.1 | -2.3 | -3.2 |
| ΔU industriels (%) | 1.53 | 1.48 | 1.57 | 1.48 |
| ET (%) | 73.7 | 52.8 | 91.2 | 86.5 |

- ➔ ET & Écoulements prépondérants
- ➔ Contribution d'apports extérieurs marginale (à conforter)
- ➔ Variation des stocks faible (sauf avec la nappe superficielle pour certaines années)

Perspectives

- Compléter la récolte des données (campagne sur d'autres rigoles sont en cours)
- Affiner les analyses spatialement et temporellement (sur une zone particulière, à l'échelle de l'événement pluvieux, ...)



- Travail sur les recharges (superficielles et des Sables) à poursuivre

- **Les données et connaissances vont servir à caler un modèle hydrologique (plateforme OpenFluid de l'Inra), qui permettra aussi d'étudier l'impact des futurs aménagements et changements**

Bibliographie

- [1] Artelia, l'union de Coteba et Sogreah. « Modélisation des écoulements du réseau hydrologique du Plateau de Saclay : étude de modélisation ». Rapport de phase 1 : construction du modèle. Arcueil. 2013, 88 pages.
- [2] Bazin M. et al. « De l'eau du Plateau de Saclay aux Fontaines de Versailles : un patrimoine exceptionnel digne de figurer au patrimoine mondial de l'humanité ». Vauhallaan, ADER, 2003, 64 pages.
- [3] Crosbie R.S et al. (2005). « A time series approach to inferring groundwater recharge using the water table fluctuation method ». – Water Resources Research, vol. 41, 9 pages.
- [4] Davoust P. *Bilan hydrique – Bilan hydrologique [en ligne]*. Disponible sur : http://www.ecosociosystemes.fr/bilan_hydrique_hydrologique.html. Consulté le 17/08/2015.
- [5] Dumont E. et al. « Projet scientifique Saclay (91) : synthèse géologique et hydrogéologique ». Numéro de dossier 111000651. Trappes. CETE-IF, 2013, 36 pages.
- [6] Healy W.R., Cook G.P. (2002). « Using groundwater levels to estimate recharge ». – Hydrogeology Journal, 18 pages.
- [7] Johnson et al. (1967). « Specific yield – compilation of specific yields for various materials. US Geological Survey. Water-Supply Papers 1662-D, 74 pages.
- [8] Li Y. « Modeling of hydrological processes of an urban catchment ». Terre et enveloppes fluides. Orsay : Etablissement Public Paris Saclay, 2015, 242 pages.
- [9] Musy A. *Cycles et bilans hydrologique [en ligne]*. Disponible sur : <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/main.html>. Consulté le 17/08/2015.
- [10] Vernoux J.F. et al. « Etude hydrogéologique du Plateau de Saclay (Essonne) ». Rapport BRGM SGR/IDF R 40840. Massy. 1999, 112 pages.

MERCI DE VOTRE ATTENTION



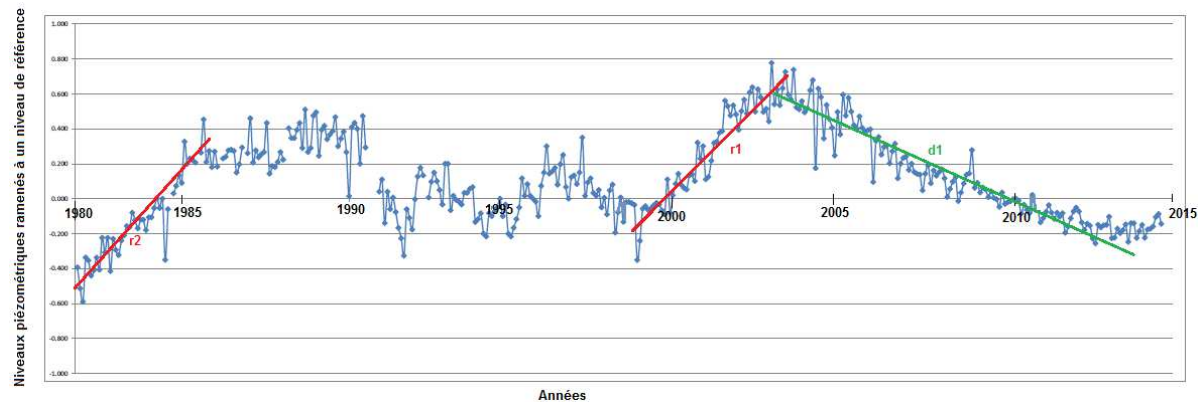
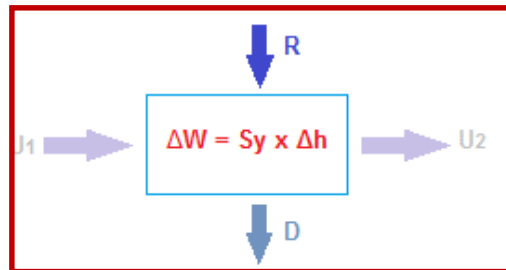
Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Estimation de flux et stocks du Plateau de Saclay

❖ Évaluation des différents paramètres contribuant au bilan hydrologique

➤ Recharge de la nappe des Sables



Bilan en période de recharge (r) : $\left(\frac{\Delta w}{\Delta t}\right) r + \text{div}(U)r = R - D$

Bilan en période de décharge (d) : $\left(\frac{\Delta w}{\Delta t}\right) d + \text{div}(U)d = - D$

Recharge de la nappe : $Re = \left(\frac{\Delta w}{\Delta t}\right) r - \left(\frac{\Delta w}{\Delta t}\right) d + (\text{div}(U)r - \text{div}(U)d)$

$$Re = \left(\frac{\Delta w}{\Delta t}\right) r - \left(\frac{\Delta w}{\Delta t}\right) d$$

Estimation de flux et stocks du Plateau de Saclay

❖ Évaluation des différents paramètres contribuant au bilan hydrologique

➤ Recharge de la nappe des Sables

| | Variation du niveau piézométrique (m/an) | Variation du stock d'eau pendant r1, r2 et d1 (m/an) |
|--------------|--|--|
| Recharge r1 | 0,234 | 0,0601 |
| Recharge r2 | 0,17 | 0,0437 |
| Drainance d1 | 0,074 | 0,019 |

Retotale (r1 + d1) = 79 mm/an

Retotale (r2+ d1) = 63 mm/an

Incertitudes :

- Recharge lorsque les niveaux baissent ou sont plats ?
- Relevés à l'échelle mensuelle → lisse les variations
- Drainance en période de recharge équivalente à la décharge en période de non recharge