

Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure

Volet bilan quantitatif

BRGM/RP-52988-FR

février 2004

Document public

Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure

Volet bilan quantitatif

BRGM/RP-52988-FR

février 2004

**Etude réalisée dans le cadre des opérations
de Service Public du BRGM 02EAU310**

E. Equilbey, M. Normand, S. Schomburgk



Mots clés : Méthodologie, bilan hydrique, pluie efficace, piézométrie, débit, prélèvement, AEP, AEI, irrigation agricole, coefficient d'emmagasinement, tarissement, étiage, logiciel Gardenia, bassin versant souterrain, bassin versant de surface, aquifère de la craie, Vallée Seine, Vallée Risle, Vallée Charentonne, Vallée Avre, Vallée Eure, Vallée Epte, Vallée Gambon, Vallée Andelle, Vallée Oison, Eure, Haute-Normandie.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Equilbey E., Normand M., Schomburgk S. (2004) – Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure. Volet bilan quantitatif de l'aquifère de la craie. Rap. BRGM/RP-52988-FR, 148 p., 44 fig., 17 tabl., 3 ann.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

En partenariat financier avec le Conseil Général de l'Eure et l'Agence de l'Eau Seine Normandie, le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) a été chargé de compléter et actualiser la dernière version papier de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure réalisé en 1991.

A l'image des départements crayeux voisins déjà traités (Eure-et-Loir et Seine-Maritime), cette version numérique de l'atlas hydrogéologique de l'Eure consiste en l'élaboration des couches géométriques de l'aquifère de la craie (couches géologiques et hydrogéologiques), objet du rapport BRGM associé RP-52989-FR et un volet bilan hydrique quantitatif de la craie, objet du présent rapport.

Un bilan hydrique quantitatif de l'aquifère crayeux a été réalisé sur les différents bassins versants du département de l'Eure. 14 bassins versants ont ainsi été définis sur le département de l'Eure et ses alentours, sur lesquels ont été collectées les données hydrologiques disponibles. Selon les bassins versants, la qualité et la représentativité de ces données sont extrêmement variables.

L'équilibre du bilan hydrique en conditions hydrologiques moyennes a pu être vérifié à l'échelle globale sur 10 bassins versants. 3 bilans hydriques quantitatifs (bassins de la Risle, de l'Iton et de l'Epte) ont été complétés par une modélisation à l'aide du logiciel GARDENIA (calages pluie-débit et pluie-niveau piézométrique). Sur les 4 derniers bassins versants (bassins de Seine aval, Seine Gambon, Oison et Morelle), un bilan quantitatif hydrique plus théorique que réellement vérifiable a également été fourni.

L'équilibre et la cohérence des bilans sont atteints, hormis l'Oison (doté d'un jeu insuffisant de données). Sur les bassins versant de l'Eure amont, de l'Eure aval et sur l'Andelle, les déficits trouvés au bilan hydrique quantitatif sont les plus marqués mais ils s'avèrent en deçà des limites d'incertitudes des données. Ils resteront à confirmer par des investigations plus détaillées.

Afin d'améliorer ces bilans hydriques qui restent sur certains bassins versants limités par les données disponibles, on s'aperçoit aussi que les réseaux de mesure ne sont pas toujours bien appropriés au suivi du fonctionnement de l'aquifère crayeux. Un certain nombre de recommandations pourraient être à envisager, consistant principalement à pérenniser certaines stations de mesures récentes (piézomètre ou stations de jaugeage) ou en rajoutant sur les bassins versants non couverts (ou mal couverts en aval).

En moyenne, les précipitations efficaces sont abondantes (205 mm), mais compte tenu d'une forte variabilité des précipitations moyennes, la pluie efficace exprimée en lame d'eau varierait sur le département d'une valeur de recharge moyenne de 130 mm au Sud Est (bassin Avre) à une valeur de recharge forte de 323 mm au Nord Ouest (bassin Calonne).

L'aquifère crayeux bénéficie donc d'une recharge qui ne pose aucun problème quantitatif majeur en temps normal. En période plus sèche, le sud et le sud-est du

département, qui restent en moyenne les moins arrosés, sont a priori les plus sensibles à un étiage marqué (bassins de l'Avre, de l'Iton et de l'Eure).

Les volumes captés concernent plus de 11 % de la ressource (et jusqu'à près de 30 % sur les bassins les plus exploités). L'impact réel des prélèvements d'un point de vue quantitatif de la ressource reste en moyenne non (3.5 % du renouvellement moyen). Seul le bassin de l'Avre reste avec un impact élevé des prélèvements sur la ressource (13 %), du fait notamment des importants prélèvements AEP pour la ville de Paris à Vert-en-Drouais.

Les impacts significatifs restent ailleurs limités et ne concernent que certaines villes et/ou zones d'industrie du département (Le Vaudreuil, puis Vernon, Gaillon, Evreux, les Andelys et Alizay).

Si la recharge quantitative de la nappe de la craie n'est pas en soi un vrai sujet d'inquiétude, des problèmes plus spécifiques apparaissent liés à la faible productivité de la craie dans ses parties les plus saines et au régime turbulent des écoulements dans ses zones les plus productives, liés au karst (engouffrement rapide par les bêttoires d'eaux de surface de qualité dégradées : turbidité, phytosanitaires et nitrates) qui rendent la nappe vulnérable.

La présence dans le sud de l'Eure de cours d'eaux ayant dans leur amont des linéaires perchés (Iton, Risle, Avre) permet aussi une ré infiltration partielle dans l'aquifère crayeux, qui contribue potentiellement à la vulnérabilité de l'aquifère crayeux et aux difficultés actuelles à y trouver de nouvelles ressources aquifères de bonne qualité.

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	13
2. PRESENTATION DE LA REGION.....	15
2.1. Contexte géographique.....	15
2.2. Bassins versants hydrographiques.....	18
2.3. Contexte hydrogéologique de l'aquifère crayeux en Haute-Normandie.....	20
2.3.1. Réservoir aquifère crayeux.....	20
2.3.2. Relations entre les accidents géologiques et la fissuration de la craie, valeurs de la perméabilité, vitesses d'écoulement.....	21
2.3.3. Rôle des différentes parties de l'aquifère, relations entre le milieu poreux et les réseaux « karstiques ».....	23
2.3.4. Tracé de la surface piézométrique, relations nappe/rivière, types de sources.....	24
2.3.5. Alimentation de la nappe de la craie, valeurs de l'infiltration, types de fluctuation de la nappe.....	25
2.3.6. Exploitation de l'aquifère de la craie.....	27
3. METHODOLOGIE EMPLOYEE POUR LA REALISATION DES BILANS HYDRIQUES.....	29
3.1. Principe du bilan.....	29
3.1.1. Bilan à l'entrée.....	29
3.1.2. Bilan à la sortie.....	30
3.1.3. Variations de stock au sein du système hydrologique.....	30
3.1.4. Equilibre du bilan.....	32
3.2. Double méthode.....	33
4. EXAMEN DES DONNEES.....	35
4.1. Bassins versants.....	36
4.2. Données d'entrée.....	40
4.2.1. Le réseau d'observation climatologique.....	40
4.2.2. Evaluation de la précipitation efficace.....	44

4.3. Données de sortie.....	47
4.3.1. Données de débit en rivière.....	47
4.3.2. Données de prélèvements.....	51
4.4. Données piézométriques.....	57
4.5. Paramètres hydrogéologiques.....	60
5. BILANS HYDRIQUES PAR BASSIN VERSANT.....	63
5.1. Principaux résultats.....	63
5.1.1. Données et hypothèses.....	63
5.1.2. Equilibre des bilans hydriques quantitatifs des différents bassins versants.....	66
5.1.3. Ampleur et nature des prélèvements actuels.....	67
5.2. Examen des bilans par bassin versant.....	69
5.2.1. Bassin versant de l'Andelle.....	69
5.2.2. Bassin versant de l'Avre.....	71
5.2.3. Bassin versant de la Calonne.....	72
5.2.4. Bassin versant de la Charentonne.....	73
5.2.5. Bassin versant de l'Epte.....	74
a) <i>Bilan moyen global</i>	74
b) <i>Bilan par Gardenia</i>	75
c) <i>Rapide comparaison des deux types de bilans</i>	82
5.2.6. Bassin versant de l'Eure amont.....	83
5.2.7. Bassin versant de l'Eure aval.....	85
5.2.8. Bassin versant de l'Iton.....	86
a) <i>Bilan par moyen global</i>	86
b) <i>Bilan par Gardenia</i>	87
c) <i>Rapide comparaison des deux types de bilans</i>	99
5.2.9. Bassin versant de la Morelle.....	100
5.2.10. Bassin versant de l'Oison.....	101
5.2.11. Bassin versant de la Risle amont.....	102
5.2.12. Bassin versant de la Risle aval.....	103
a) <i>Bilan par Gardenia</i>	103
b) <i>Rapide comparaison des deux types de bilans</i>	110

5.2.13. Bassin versant de la Seine Gambon.....	111
5.2.14. Bassin versant de la Seien aval.....	113
6. PERSPECTIVES SUR LES BILANS.....	115
6.1. Principaux enseignements.....	115
6.2. Recommandations.....	117
7. CONCLUSION.....	119
8. BIBLIOGRAPHIE.....	123

Liste des illustrations

FIGURES

Fig. 1 - Situation du département de l'Eure dans le contexte du bassin parisien sur la carte géologique à 1/1 000 000	16
Fig. 2 - Les sous-régions naturelles de l'Eure géographique	17
Fig. 3 - Contexte géographique des bassins versants de l'Eure	19
Fig. 4 - Schéma hydrologique illustratif du bilan hydrique quantitatif.....	32
Fig. 5 - Données du bilan hydrique quantitatif	35
Fig. 6 - Découpage du département de l'Eure en ses différents bassins versants sur fonds du MNT	36
Fig. 7 - Réseaux de mesure sur les bassins versants du département de l'Eure.....	39
Fig. 8 - Cartographie des isovaleurs moyennes annuelles de pluies en mm	40
Fig. 9 - Valeurs moyennes de pluies sur les périodes 1991/2000 et 1932/1960	41
Fig. 10 - Valeurs annuelles extrêmes de pluies en mm en 1996 et en 1999-2000.....	42
Fig. 11 - Pluies moyennes annuelles en mm sur les 14 bassins	43
Fig. 12 - Comparaison des valeurs ETP sur les stations d'Evreux Huest, Rouen Boos, Couvains et Saint Gatien des Bois	44
Fig. 13 - Cartographie interprétée des précipitations efficaces par bassin versant	46
Fig. 14 - Carte des 14 bassins versants et les stations de jaugeages disponibles.....	48
Fig. 15 - Evaluation sur chacune des stations de jaugeage de la lame d'eau calculée	50
Fig. 16 - Position des ouvrages de prélèvements.....	52
Fig. 17 - Correlation débit déclaré - volume déclaré.....	53
Fig. 18 – Volumes et usages de prélèvements par bassin versant	55
Fig. 19a et b – Localisation des piézomètres avec aperçu des chroniques correspondantes	58
Fig. 20 – Impact des prélèvements par bassin versant sur la ressource d'un point de vue quantitatif	68
Fig. 21 – Simulation pluie-débit de l'Epte à Fourges	76
Fig. 22 – Simulation pluie-niveau du piézomètre à Bezancourt.....	76
Fig. 23 – Simulation pluie-niveau du piézomètre à Farceaux.....	77
Fig. 24 – Simulation pluie-niveau du piézomètre à Civières.....	77
Fig. 25 – Elements du bilan hydrologique du bassin de l'Epte d'après Gardenia.....	79

Fig. 26 – Recharge annuelle dans le bassin versant de l'Epte.....	81
Fig. 27 – Fluctuations piézométriques et de débits sur le bassin versant de l'Iton.....	88
Fig. 28 – Simulation pluie-débit de l'Iton à Normanville.....	90
Fig. 29 – Simulation pluie-niveau du piézomètre à Nogent-le-Sec.....	90
Fig. 30 – Simulation pluie-niveau du piézomètre à Bois-Arnault.....	91
Fig. 31 – Simulation pluie-niveau du piézomètre à Coulonges.....	91
Fig. 32 – Eléments du bilan hydrologique du bassin de l'Iton.....	93
Fig. 33 – Variations de la recharge sur Normanville entre 1968 et 2002.....	95
Fig. 34 – Fluctuations annuelles des entrées, sorties et stockage/destockage dans le bassin versant de l'Iton à Normanville.....	96
Fig. 35 – Contribution temporelle des écoulements lents et rapides au débit total à Normanville.....	97
Fig. 36 – Part du débit souterrain lent dans le débit total de la rivière.....	98
Fig. 37 – Comparaison de trois stations pluviométriques situées sur le bassin versant de la Risle.....	104
Fig. 38 – Simulation pluie-débit du Risle à Pont-Authou.....	105
Fig. 39 – Simulation pluie-niveau du piézomètre 01493X0001.....	106
Fig. 40 – Eléments du bilan hydrologique du bassin de l'Iton d'après Gardenia.....	108
Fig. 41 – Impact des prélèvements dans les bilans hydriques quantitatifs, représentés par leurs impluvium théoriques.....	116
Fig. 42 – Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant.....	128
Fig. 43 – Principe du modèle hydrologique global Gardenia.....	128
Fig. 44 – Bassins versants souterrains et de surface.....	133

TABLEAUX

Tabl. 1 - Superficie des bassins versants.....	36
Tabl. 2 - Variation des pluies moyennes sur les différents bassins selon les périodes considérées.....	42
Tabl. 3 - Valeurs caractéristiques des stations de jaugeage.....	49
Tabl. 4 - Données de prélèvement par usage et par bassin versant.....	56
Tabl. 5 – Valeurs T et S déjà numérisées en BSS.....	61
Tabl. 6 – Tableau récapitulatif des bilans hydriques quantitatifs globaux moyens de l'aquifère crayeux sur les différents bassins versants.....	64
Tabl. 7 – Tableau récapitulatif des bilans hydriques quantitatifs sur la surface totale des bassins versants.....	65
Tabl. 8 – Estimation de la part du débit drainé dans le débit total.....	66
Tabl. 9 – Calages Gardenia sur le bassin versant de l'Epte.....	78
Tabl. 10 – Paramètres hydrologiques des calages Gardenia sur les bassins versants de l'Epte.....	80
Tabl. 11 – Sources de Cailly-sur-Eure.....	87
Tabl. 12 – Résultats des calages Gardenia pluie-débit et pluie-niveau piézométrique.....	92
Tabl. 13 – Paramètres hydrologiques des calages Gardenia sur le bassin versant de l'Iton.....	94
Tabl. 14 – Calages obtenus avec différentes valeurs de débits de fuite et optimisation du coefficient ETP.....	99
Tabl. 15 – Résultats du calage Gardenia sur le bassin versant de la Risle aval à Pont-Authou.....	106
Tabl. 16 – Paramètres hydrologiques des calages Gardenia sur le bassin versant de la Risle.....	109
Tabl. 17 – Estimation du débit total moyen de la Seine.....	114

Liste des annexes

Ann. 1 - Présentation détaillée du logiciel Gardenia.....	125
Ann. 2 - Examen comparé des tailles de bassins versants	131
Ann. 3 - Bilan comparé des trois calages Gardenia sur les bassins versants de l'Epte, de l'Iton et de la Risle	135

1. Introduction

La dernière version de l'Atlas hydrogéologique de l'Eure date de 1989. Cette synthèse sur support papier consiste en une cartographie au 1/100.000 de la piézométrie moyenne de l'aquifère de la craie sur un fond topographique et géologique simplifié, une carte des prélèvements au 1/250.000 et une notice traitant des généralités (géographie, géologie, hydrologie, climatologie) et de l'aspect hydrogéologique (description des variations piézométriques et des caractéristiques des sources et ouvrages souterrains principaux). Cette version est épuisée et n'est plus disponible.

Par ailleurs, il a récemment été réalisé par la CGG et pour l'AESN et les Conseils Généraux concernés, un atlas hydrogéologique numérique de la nappe de la craie sur les départements voisins de l'Eure et Loir (2001) et de la Seine-Maritime (1999).

L'objectif du présent projet est de disposer d'un Atlas hydrogéologique au format numérique pour le département de l'Eure, réalisé selon une méthodologie similaire, ceci afin de pouvoir disposer de documents homogènes (et jointifs pour certains documents cartographiques).

Ce travail financé par l'AESN délégation Seine Aval, le Conseil Général de l'Eure et le BRGM, a été confié au Service Géologique Régional de Haute-Normandie du BRGM.

Le projet comporte deux volets :

- un volet cartographique, réalisation de couches SIG géologiques et hydrogéologiques, objet d'un premier rapport BRGM distinct RP-52989-FR,
- un volet bilan quantitatif de l'aquifère de la craie, objet du présent rapport.

Les objectifs du présent volet bilan sont les suivants :

- vérifier pour chaque bassin versant la cohérence des flux connus d'entrée et de sortie, et plus particulièrement de s'assurer que les prélèvements actuels sont en adéquation avec le potentiel quantitatif de la ressource en eau exploitée,
- différencier dans un premier temps les zones surexploitées des zones peu exploitées en eau.

Ce travail s'appuie avant tout sur les données disponibles issues des différentes stations de mesures existant sur le terrain (stations météorologiques, de jaugeage du débit, stations piézométriques et compteurs de débit). Les résultats obtenus sur chacun des bassins versants vont de ce fait être largement contraints par la qualité des réseaux de mesures.

Tout écart dans le bilan peut donc aussi bien traduire une incertitude sur le fonctionnement hydrogéologique supposé de l'aquifère que sur les mesures effectuées et ne pourra donner lieu au mieux qu'à la formulation d'hypothèses, dans l'état actuel des données disponibles.

2. Présentation de la région

2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Le département de l'Eure, qui doit son nom au cours d'eau qui le traverse dans sa plus grande longueur, constitue la partie méridionale de la Haute-Normandie s'inscrivant dans le nord-ouest du Bassin de Paris. Epousant très sensiblement la forme d'un cœur, il s'étend sur une superficie de 6 030 km², soit le 91^{ème} du territoire français.

Il est délimité au nord par le département de la Seine-Maritime, à l'est par ceux de l'Oise, du Val d'Oise et des Yvelines, au sud-est par l'Eure-et-Loir, au sud par l'Orne et à l'ouest par le Calvados.

Bordé à l'ouest par le Massif armoricain, le département de l'Eure se situe en marge nord-ouest du Bassin de Paris.

Son relief est pour l'essentiel façonné dans les terrains crayeux du Crétacé supérieur (fig. 1). Les contrastes lithologiques sont faibles entre les différentes assises crayeuses. Il en résulte une morphologie d'ensemble relativement uniforme, de plateaux faiblement ondulés, incisés par des vallées parfois relativement encaissées. L'altitude moyenne est voisine de 150 mètres NGF. Elle s'élève jusqu'à 250 mètres dans le sud, aux abords du Perche et descend lentement vers la Seine au Nord où l'altitude n'est plus qu'à quelques mètres au-dessus du 0 NGF.

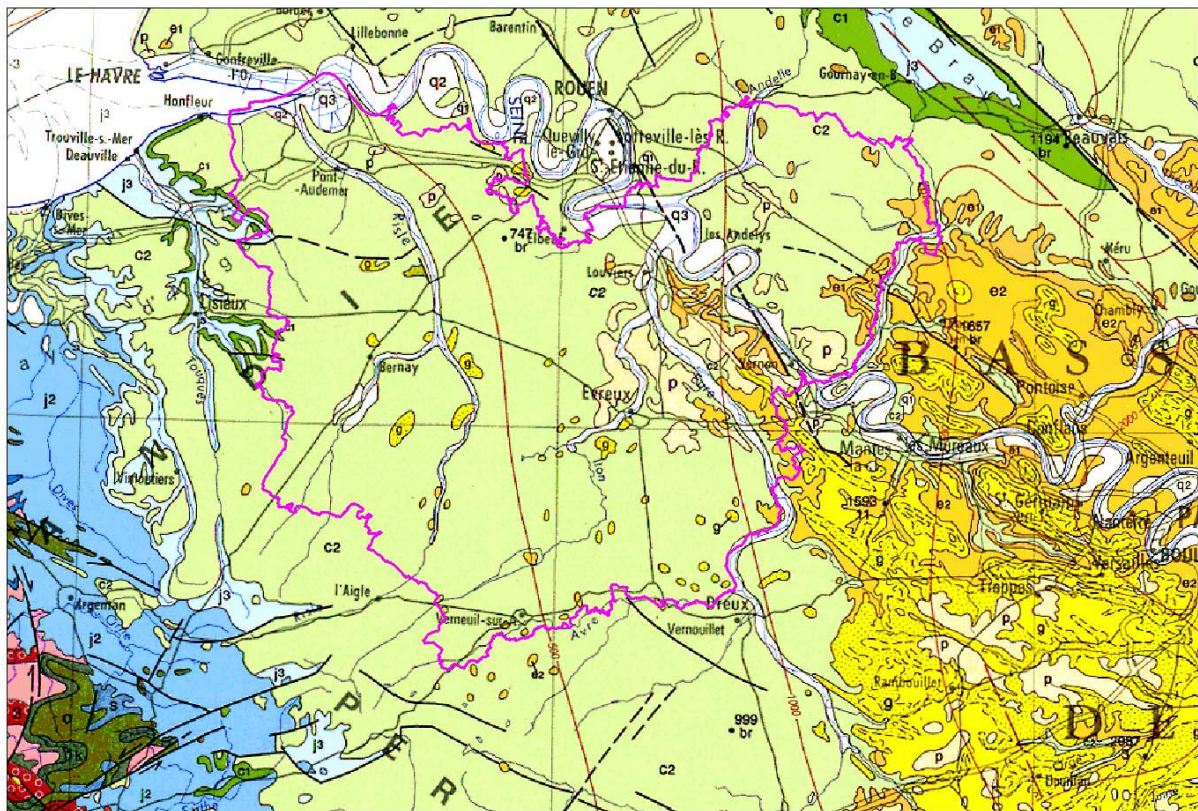


Fig. 1 - Situation du département de l'Eure dans le contexte du bassin Parisien sur la carte géologique à 1/1 000 000

Terrains en grisé : alluvions. Terrains cénozoïques (tertiaires) du centre du BP en jaune-orange
Terrains mésozoïques crétacés (verts) et jurassiques (bleus).
Terrains paléozoïques (bruns) et protérozoïques (roses) du socle armoricain

Le réseau hydrographique de surface, modérément développé, est concentré sur un petit nombre de rivières principales.

Au nord, ce sont la Seine et ses affluents de rive droite :

- l'Andelle et ses affluents (Hérondelle, Crévon, Lieure, Fouillebrosc),
- le Cambon,
- enfin l'Epte et ses affluents (Bonde, Levrière, Troesne, Aubette).

Le sud est traversé par les rivières descendues du Perche qui rejoignent la Seine en rive gauche :

- à l'ouest, la Risle et son affluent la Charentonne (et son affluent le Guiel),
- à l'est, l'Eure et ses principaux affluents Iton et Avre.

Une mosaïque de régions naturelles ou "pays" (fig. 2), se juxtaposent, du nord au sud de la Seine :

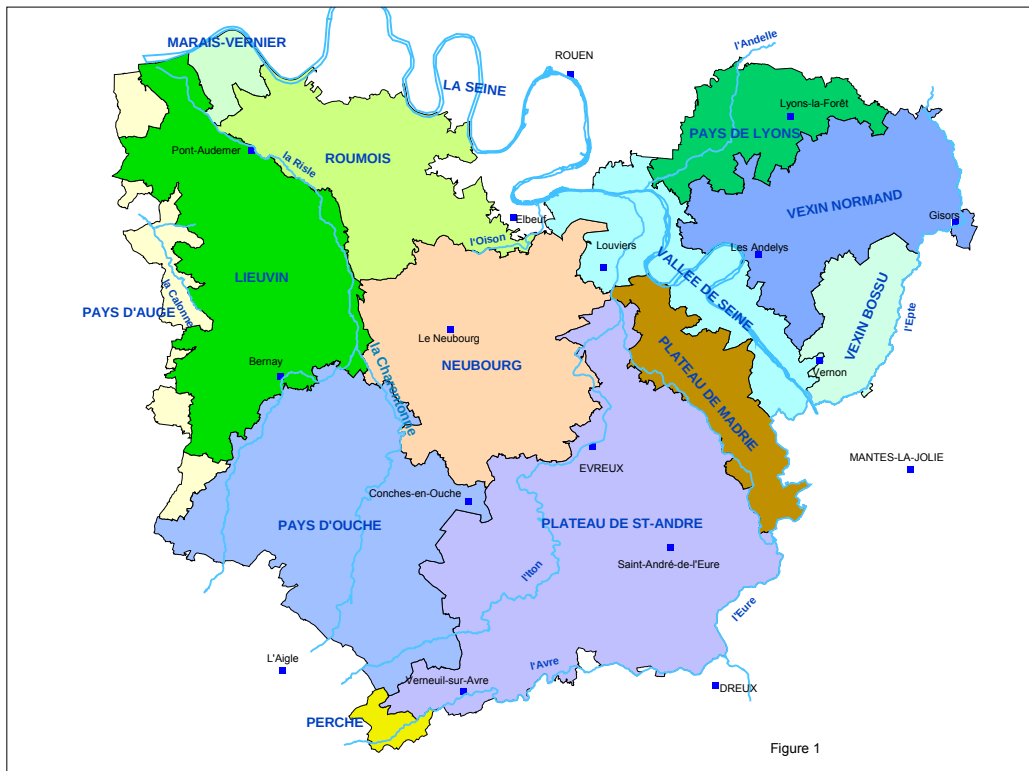


Fig. 2 - Les sous-régions naturelles de l'Eure géographique

Au nord de la Seine :

- Le Pays de Lyons, essentiellement forestier, irrigué par l'Andelle,
- Le Vexin normand, grande plaine de culture faiblement ondulée, sans rivière d'importance,
- Le Vexin bossu, à l'ouest de l'Epte, tire son nom d'un relief nettement plus vallonné.

Au sud de la Seine :

- Le Marais-Vernier, zone humide proche de l'embouchure de la Seine, aux pieds des falaises,
- Le Roumois, rappelant le pays de Caux, fait transition entre la vallée de la Seine, qui le limite au nord et le bocage du Lieuvin au sud,
- Le Lieuvin, pays de bocages, délimité à l'est par les vallées de la Risle et de la Charentonne,
- Le Pays d'Ouche, également bocager, à l'est de la Charentonne, divisé en deux par la vallée de la Risle,
- Le Plateau de St-André-de-l'Eure, qui s'insère entre les vallées de l'Eure et de l'Avre à l'est et la vallée de l'Iton à l'ouest,
- Le Plateau de Madrie, entre Eure et Seine,
- Le Neubourg, central, très faiblement ondulé, bordé par la Risle à l'ouest, l'Iton à l'Eure à l'est.

D'Elbeuf à Vernon, la "Vallée de Seine" forme une région spécifique de plaines alluviales souvent industrialisées.

Une frange étroite et discontinue à l'ouest du Lieuvin, appartient déjà au Pays d'Auge, tandis que la pointe sud du département forme l'avant-garde du Perche.

2.2. BASSINS VERSANTS HYDROGRAPHIQUES

Le réseau hydrographique est organisé autour d'un nombre réduit de vallées actives, à cours d'eau pérenne, mais ces vallées dites "humides" se prolongent à l'amont par une multitude de vallons secs ou vallées sèches qui incisent les ordures de plateaux.

Cette organisation hydrographique bien hiérarchisée permet un découpage aisé du département selon les grands bassins suivants (fig. 3) :

- Bassin versant de l'Andelle,
- Bassin versant de l'Epte,
- Bassin versant de la Seine,
- Bassin versant de l'Eure,
- Bassin versant de l'Iton,
- Bassin versant de l'Avre,
- Bassin versant de la Risle,
- Bassin versant de la Charentonne,
- Bassin versant de la Touques (- Calonne),
- Bassin versant de la Morelle (et autres petits fleuves côtiers entre Risle et Touques),
- Bassin versant de l'Oison.

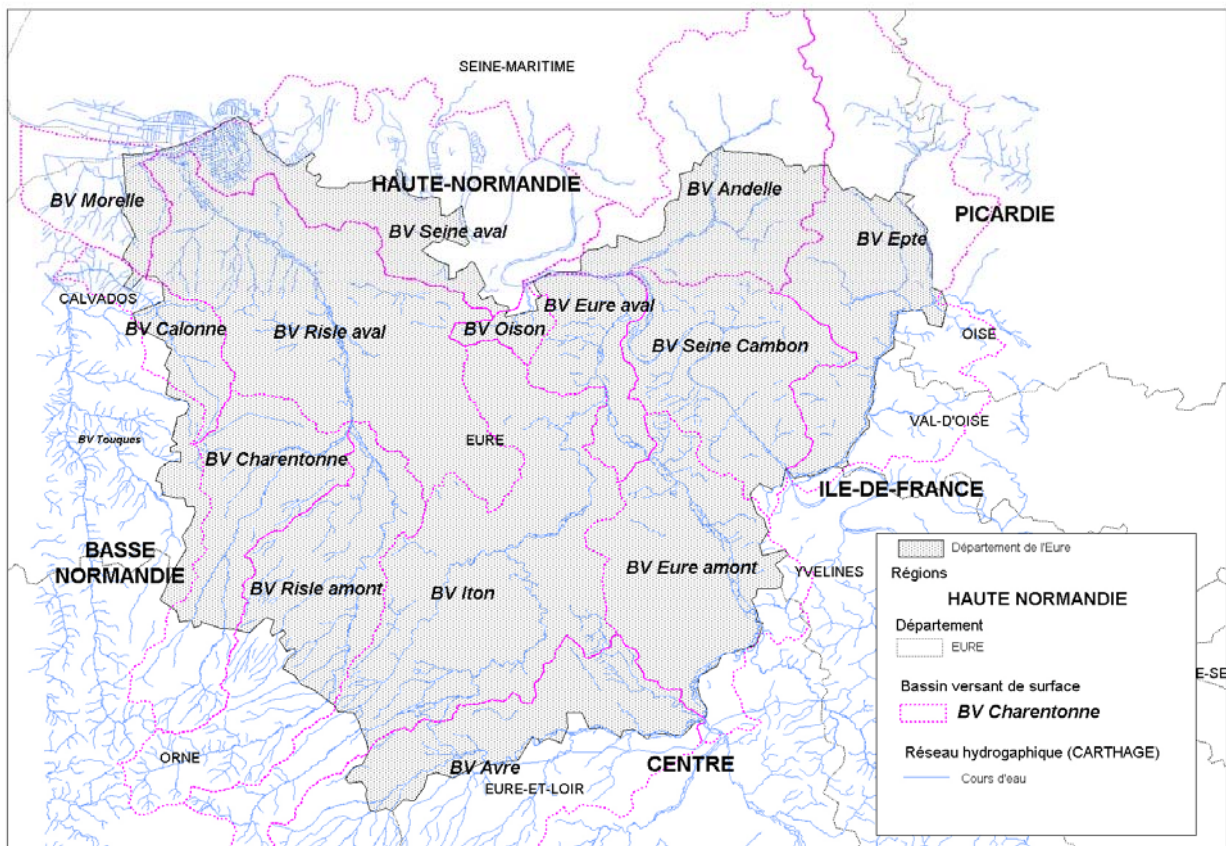


Fig. 3 - Contexte géographique des bassins versants de l'Eure

Il a ainsi été distingué 14 bassins versants différents qui couvrent et débordent largement en périphérie le département de l'Eure, sauf au SW (quelques fines bordures du Pays d'Auge appartenant aux bassins de la Touques et de son affluent le Mailloc).

Pour les trois plus grands bassins versants, Seine, Eure et Risle, les bassins versants ont été redécoupés en 2, de tailles plus petites :

- le bassin versant Seine dans sa partie départementale est redécoupé en :
 - Seine aval, en aval de la Confluence de l'Eure,
 - et le bassin Seine-Gambon qui intègre en sus de la partie amont du fleuve Seine le bassin versant de la courte rivière Gambon.
- le bassin versant de l'Eure dans sa partie départementale est redécoupé en :
 - Eure aval, en aval de la Confluence de l'Iton,
 - Eure amont entre les confluences de l'Avre et celle de l'Iton,
 - ses affluents Avre et Iton sont déjà individualisés sous forme d'un bassin versant.
- et le bassin versant de la Risle dans sa partie départementale est redécoupé en :
 - Risle aval, en aval de la confluence de la Charentonne,
 - Risle amont, en aval de la confluence de la Charentonne,
 - son affluent la Charentonne.

Le bassin versant de la Touques, principalement situé en Basse-Normandie, n'est présent que sous forme de bribes de terrains isolés en limite amont (Pays d'Auge) et ne sera étudié que sur la partie du bassin versant de son principal affluent sur le département, la Calonne, qui se partage entre les départements de l'Eure et du Calvados. Il ne sera désormais plus fait mention que du bassin versant de la Calonne.

Plusieurs autres bassins versants débordent du département.

Les bassins versants de la Risle et de la Charentonne débordent légèrement en amont sur le département de l'Orne (Basse-Normandie), l'examen du bilan est réalisé sur l'intégralité du bassin versant (dans la limite bien sûr des données pouvant être collectées hors du département).

Il en est de même pour l'Avre qui s'étend également sur l'Eure-et-Loir, soit sur trois régions différentes.

Les cours d'eau de l'Eure et de la Seine débordent largement en amont du département de l'Eure et ne seront examinées que sur leur partie départementale. L'entrée de ces cours d'eaux se faisant au niveau de la confluence d'un de leur sous affluent, les limites de la zone étudiée sont claires :

- la Seine sera prise en compte à partir de la confluence de l'Epte,
- l'Eure sera pris en compte à partir de la confluence de l'Avre. La Vesgre, affluent en rive droite de l'Eure en aval de l'Avre, mais entièrement situé dans le département de l'Eure et Loir ne sera pas examiné.

L'Epte, cours d'eau frontalier délimitant les régions de Haute-Normandie (en rive droite), de Picardie (rive gauche amont), et d'Ile de France (rive gauche aval), est considéré dans son intégralité.

L'Andelle s'étend sur le département voisin de la Seine-Maritime et est considérée en intégralité.

Le bassin versant de la Morelle (et autres fleuves côtiers entre Touques et Risle) se répartit à parts égales sur l'Eure et le Calvados et a été considéré en intégralité.

Le bassin versant de la Calonne est examiné dans son amont jusqu'à la station de jaugeage du débit de la DIREN BNO, situé aux Authieux-sur-Calonne (Calvados).

2.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'AQUIFERE CRAYEUX EN HAUTE NORMANDIE (D'APRES P. DE LA QUERRIERE, 2000)

2.3.1. Réservoir aquifère crayeux

L'aquifère crayeux en Haute-Normandie (de La Querrière P., 2000) constitue le principal aquifère de la région. Les deux autres réservoirs, qui sont les calcaires et les sables de l'Eocène sur le plateau de Madrie et les Sables Verts de l'Albien, sont très peu utilisés du fait respectivement d'une faible capacité de production et d'une assez

grande profondeur (120 à 200 m). Le premier contient une nappe libre, le second une nappe captive.

La surface de l'aquifère crayeux atteint 12.000 km² environ auxquels il faut soustraire 430 km² (Pays de Bray, estuaire de la Seine, plateau de Madrie). Ses limites sont constituées par 370 km de limites à potentiel constant (Manche, Bresle, Epte, Eure, Avre) ; à l'ouest, l'aquifère se prolonge sur le versant oriental de la vallée de la Touques qui constitue une limite d'affleurement.

L'épaisseur de l'aquifère (zone saturée et non saturée), exceptés les effets plus ou moins locaux des accidents structuraux, s'accroît d'une cinquantaine de mètres au SW de la région (limite départementale Eure-Calvados-Orne) à plus de 200 mètres dans la majorité du territoire, pour atteindre une valeur maximale supérieure à 300 mètres dans le Vexin. L'ensemble de ces valeurs est réduit par les effets de l'érosion en vallées. On schématise la lithologie des différents horizons crayeux ainsi, craie sableuse du Cénomanien (glauconieuse à la base), craie marneuse du Turonien et du Santonien, craie dolomitisée du Coniacien, craie tendre du Campanien. Dans la réalité, les cuttings des forages montrent une grande variation lithologique avec des séquences de bancs donnant des débris très durs ou de craie molle ou de galets de craie durcis englobés dans une matrice pâteuse.

2.3.2. Relations entre les accidents géologiques et la fissuration de la craie, valeurs de la perméabilité, vitesses d'écoulement

Les principaux accidents structuraux qui affectent le sous-sol crayeux sont l'anticlinal du Bray, la faille de la Seine qui s'écarte de la vallée à Rouen pour passer à Pavilly, Lillebonne, Bolbec et Fécamp et se prolonger dans la Manche avec une direction E-W, l'anticlinal de Bourghéroulde et son compartiment axial effondré, la faille de Pont-Authou/Cormeilles/Blangy-le-Château.

D'autre part, on suppose l'existence d'une flexure au niveau de la vallée de l'Eure et d'accidents orientés NW-SE au Neubourg et à Saint-André-de-l'Eure (masqués par la couverture des formations superficielles dans des secteurs où les sondages géologiques sont rares) responsables de l'approfondissement de la nappe vers la rivière Eure.

De nombreux autres accidents géologiques, connus et répertoriés sur les cartes géologiques ou estimés probables par une argumentation hydrogéologique ou morphologique affectent l'aquifère. On rappelle aussi que les assises crayeuses du Vexin sont affectées par de nombreuses ondulations anticlinales et synclinales qui se prolongent vers le NW et provoquent une certaine fissuration du milieu.

La texture de la craie est modifiée par ces phénomènes : en effet, à chaque fois que les levés cartographiques ou des études ont pu mettre en évidence un accident géologique, une zone de fissures et souvent de circulation rapide des eaux souterraines a été constatée.

Le tracé des rivières est calqué sur des accidents armorico-varisques, accidents réactivés au cours du Cénozoïque (compression pyrénéenne puis alpine). On peut raisonnablement penser que les processus d'altération physico-chimique et mécanique

de la craie ont affecté préférentiellement les niveaux et les linéaments broyés par les rejeux tectoniques au cours du Cénozoïque.

La craie a été altérée par ces phénomènes sur l'ensemble de sa surface lors des phases d'exondation, sur une grande épaisseur, pour constituer la Formation Résiduelle à Silex (à laquelle se sont mélangées d'autres formations). Le contact Craie/Formation résiduelle à silex a une allure de tôle ondulée, et on a pu constater, au hasard des sondages, que les poches importantes d'argile à silex correspondent à des zones très fissurées de craie en-dessous bordées « d'épis » de craie durcie (Quesnel 1997, Laignel 1997).

L'épaisseur de cette Formation Résiduelle à Silex varie normalement de 10 à 25 m, mais il existe des poches atteignant 50 m de profondeur. Cette formation existe dans toute la région mais elle disparaît peu à peu dans le NE de la Seine-Maritime. On ne la trouve pas en Picardie ni en Champagne. Elle a été découverte par sondages sous quelques mètres de graviers alluvionnaires, dans les hautes vallées de la Risle, de l'Iton et de l'Avre, sur des épaisseurs de plus de 10 mètres parfois, alors qu'elle est absente dans la partie inférieure de ces cours d'eau et sous la rivière Eure.

La craie est un milieu mixte, poreux, fissuré, et « karstique ». Lorsque la craie est compacte (sous les plateaux et à grande profondeur), les eaux s'écoulent dans les pores intergranulaires qui ont des dimensions de l'ordre du micron. Les valeurs de perméabilité sont égales ou inférieures à 1×10^{-6} m/s. Les vitesses de circulation de la nappe sont de l'ordre de 1 à 10 mètres par an. Dans les vallées sèches et humides, des fissures d'ouverture millimétrique voire centimétrique affectent ce milieu, mais il est encore assimilable à un milieu poreux car les écoulements ont un régime laminaire et respectent la loi de Darcy. Les perméabilités ont des valeurs comprises entre 1×10^{-5} et 1×10^{-3} m/s. Les vitesses d'écoulement atteignent plusieurs dizaines et même plusieurs centaines de mètres par an.

Lorsque l'ouverture des fissures s'agrandit et que les conditions de charge le permettent, le régime d'écoulement devient turbulent, avec des vitesses atteignant plusieurs centimètres à la seconde. Les écoulements obéissent à d'autres lois que celles de Darcy et parfois à d'autres conditions (flux) que les conditions de pression. Ces réseaux sont connus dans toute la région recouverte par la craie (Rodet, 1992), mais ils n'intéressent que certains talwegs, certaines vallées sèches et humides, et n'occupent qu'une petite partie de l'aquifère.

Le passage d'un milieu fissuré assimilable à un milieu poreux vers un réseau « karstique » est parfois très brusque comme l'indique l'exemple du réseau de la vallée des Ecameaux à Elbeuf. L'examen vidéo caméra montre en effet un réseau sous forme d'un tube de diamètre égal à 800 mm inclus dans une craie très dure et peu fissurée (production d'eau de l'ordre de $30 \text{ m}^3/\text{h}$) qui occupe le reste de la vallée concernée.

Ce type de coexistence a été rencontré à Saint-Aubin-Epinay, à l'est de Rouen dans la vallée de l'Aubette. Une campagne de recherche d'eau en 1972 a montré que la craie du Turonien est peu perméable (production d'eau de quelques mètres cubes par heure) dans toute la partie amont de la vallée de l'Aubette, sur une longueur de plus de 1 km et sur une largeur supérieure à 100 mètres, sauf dans un conduit de dimension probablement métrique, qui parcourt des talwegs (Fond des Corrons, Fonds de Fresne, les Longs Vallons). Ailleurs, la craie est très fissurée dans sa masse, comme dans la vallée de la Risle à Ajou, à la Vieille Lyre, La Houssaye.

En règle générale, la fissuration affecte les horizons superficiels. En plateau dans la zone non saturée, son épaisseur ne dépasse pas quelques mètres sous le contact Formation résiduelle à silex/Craie. En vallée sèche, elle existe dans les premiers 20 mètres sous la surface de la nappe.

En vallée humide, les épaisseurs de craie fissurée s'accroissent pour atteindre dans la vallée de la Seine des valeurs de 50 mètres et plus. A grande profondeur (l'ordre de 150 m), la craie devient suffisamment compacte pour qu'aucun vide (fissure ou pore) ne contienne d'eau libre donnant lieu à des écoulements. La craie forme donc à partir d'une certaine profondeur le substratum de la nappe d'eau qu'elle contient. On rappelle que du gaz liquéfié est stocké en galeries vers 150 m de profondeur à Grand-Couronne (76), utilisant cette imperméabilité de la craie en profondeur.

L'épaisseur de la zone fissurée sous le niveau moyen de la nappe est réduite à 3 ou 4 mètres dans le talus qui borde le lit majeur de la Seine (Saint-Pierre-les-Elbeuf, Venables) et la productivité des ouvrages chute de plus de 60 % lorsque le niveau de la nappe baisse. Ce même phénomène d'épaisseur réduite de la zone fissurée se produit sur certains tronçons amont des vallées de la Risle et de la Charentonne.

Sous les plateaux du Vexin, les reconnaissances menées pour l'adduction en eau potable laissent penser qu'il pourrait y avoir encore des niveaux productifs vers 100 m de profondeur. A Saint-Vigor-d'Ymonville, près du Havre, on a rencontré un réseau « karstique » à la cote -15 m NGF dans la craie, sous la falaise bordant la vallée de la Seine. Cette donnée ajoutée au constat d'existence de cavités résiduelles dans la falaise montre que la « karstification » de la craie s'est déroulée pendant toute une grande partie du Quaternaire, y compris en périodes froides.

2.3.3. Rôle des différentes parties de l'aquifère, relations entre le milieu poreux et les réseaux « karstiques »

Le rôle des différentes parties de l'aquifère est différent.

Le milieu poreux a une fonction essentiellement capacitive, pour lequel on admet généralement une capacité d'emménagement de 5 à 10%. Des interprétations de pompages d'essai plus ou moins partiels ont permis d'estimer les transmissivités à des valeurs inférieures ou égales à $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Les zones de fissuration se trouvent dans les vallées sèches et humides et sont plus ou moins hiérarchisées ; les valeurs de transmissivité atteignent couramment $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ jusqu'à 3 ou $4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Ces zones drainent la nappe et ont surtout une fonction conductrice. Lorsque l'ouverture de ces fissures s'agrandit, les écoulements deviennent turbulents avec des vitesses d'écoulement analogues à celles des cours d'eau.

Ces zones karstifiées sous l'action de l'érosion drainent la nappe. Leur ouverture est pluri-décimétrique en général. Mais des prospections ont montré qu'elles pouvaient atteindre des dimensions de plusieurs mètres (Yport, vallée de l'Iton sec, Fauville-en-Caux, Montigny). Ces réseaux communiquent localement avec la surface du sol par des dolines (bétoires) qui se forment d'abord par corrosion chimique puis érosion interne des voûtes instables des conduits (lorsque ceux-ci atteignent une poche d'argile ou de la craie altérée), puis, une fois l'affaissement du sol initié, par accentuation du phénomène par les eaux de ruissellement.

En période de pluie importante et lors du déclenchement de ruissellements, les eaux s'engouffrent dans ces bêttoires et alimentent ces réseaux karstiques. A l'intérieur, les eaux deviennent troubles (remise en suspension de limons résiduels dans les conduits et apports par les engouffrements), elles se contaminent bactériologiquement et leur minéralisation diminue. La pression hydraulique augmente et ces réseaux alimentent la nappe contenue dans le milieu poreux ou fissuré encaissant. Cette phase s'arrête lorsque l'engouffrement cesse, et les eaux reprennent leur écoulement initial. Les paramètres hydrodynamiques habituels relatifs au milieu poreux n'ont alors plus de signification physique. Cependant, à titre indicatif, on peut dire qu'une valeur élevée de la transmissivité (on a constaté parfois une évolution du niveau d'eau en pompage semblable à un régime de Theis) peut être l'indice d'un tel réseau si on ne s'est pas aperçu de son existence au cours de la foration. Le nouveau puits du Bois de la Vierge à Yport, creusé sur le karst pour l'alimentation en eau potable du Havre et situé à plus de 1 km de la mer, subit les effets de la marée haute du fait de la transmission rapide des pressions (forte transmissivité du milieu crayeux).

Les sources importantes (> 50 l/s) sont presque toujours l'indice de l'existence de ces réseaux. Les plus remarquables en Seine-Maritime sont les sources d'Yport (1,5 m³/s), du Vivier à Valmont (350 l/s), de Veules-les-Roses (600 l/s), de Bec-de-Mortagne (550 l/s), de la Fontaine du Gouffre à Dieppe (200 l/s), de Saint-Laurent-de-Brévedent (300 l/s), du groupe de Radicatel (750 l/s sur une ligne d'émergence de plusieurs centaines de mètres), de l'Ambion et de la Sainte Gertrude (740 l/s), de Fontaine-sous-Préaux (390 l/s), de Moulineaux (500 l/s).

Dans le département de l'Eure, il s'agit des sources de Bernay (400 l/s), de la Bave (1050 l/s), et de la pisciculture (450 l/s) près de Beaumont-le-Roger, de Livet-sur-Authou (910 l/s), de Bonneville-sur-Iton (1250 l/s), de Gaudreville-la-Rivière et de Glisolles (1050 l/s) à l'aval de l'Iton sec, de Hondouville (1180 l/s), de Cailly-sur-Eure (500 l/s, résurgence partielle de l'Eure en crue).

On précise, pour donner une information complète, que toutes les sources importantes ne sont pas l'exutoire de réseaux karstiques, comme les sources de Fontaine-sous-Jouy dans la vallée de l'Eure (réduction de la section soumise à l'écoulement souterrain), les sources de Rouelles au Havre (remontée du substratum).

2.3.4. Tracé de la surface piézométrique, relations nappe/rivière, types de sources

La surface piézométrique de la nappe (zone saturée continue) épouse fortement la morphologie du sol qui, elle, dépend en partie de la répartition de la fissuration de la craie. Elle forme des dômes d'alimentation sous les plateaux où l'aquifère peu fissuré a une fonction capacitive, et des dépressions dans les zones fissurées drainantes à fonction transmissive (vallées humides et sèches, réseaux « karstiques »).

La nappe est drainée dans le département de l'Eure et dans le sud de la Seine Maritime par la Seine et ses affluents et dans le nord de ce dernier département, par la Manche et les fleuves côtiers. Les effets de la marée se font sentir sur la nappe en bordure des cotes et en Seine jusqu'au barrage de Poses (20 km en amont de Rouen).

Dans la boucle de la Seine de l'agglomération rouennaise où la surface nappe est assez plate, les effets de la marée se font sentir jusqu'à une distance de l'ordre de

plusieurs centaines de mètres en latéral par rapport aux rives. L'amplitude et le déphasage des fluctuations qui dépendent de la distance du point d'observation, permettent de calculer les diffusivités qui sont très élevées en général ($0,1 \text{ m}^2/\text{s}$).

Les bassins hydrogéologiques épousent donc le contour des bassins morphologiques mais le développement de certains réseaux « karstiques » a provoqué la capture de certains bassins par d'autres : le bassin d'Etretat par Yport, le haut bassin du Dun par le bassin de la Veules et les sources de Saint-Valéry-en-Caux.

Les rivières qui sont des affleurements de la nappe dus au recoupement de la surface piézométrique par la surface topographique, sont alimentées à 90 % par les écoulements souterrains. Ce qui explique la régularité de leur débit, de leur température et de leur limpidité. On assiste actuellement au colmatage progressif de leur lit par les apports de terre érodée entraînée par les ruissellements superficiels, en forte augmentation du fait des changements des pratiques agricoles sur les dernières décennies.

Dans les vallées du Commerce entre Bolbec et Gruchet-le-Valasse, de l'Iton entre Condé et la Bonneville-sur-Iton, de la Risle entre Rugles et Beaumont-le-Roger, et l'Avre en amont de Verneuil-sur-Avre, des réseaux « karstiques » liés à une différence d'altitude entre l'amont et le niveau de base ont induit l'enfouissement de la nappe dans l'aquifère et son décrochement du niveau des rivières sur des profondeurs de 10 à 15 mètres.

Dans la partie aval de ces rivières, les graviers alluvionnaires reposent directement sur la craie comme dans les vallées de l'Eure, de la Seine, et sur les cours d'eau côtiers de la Seine-Maritime. On rencontre aussi parfois des mélanges imbriqués de ces deux formations (craie et alluvions), et on cite le cas sur la Vallée du Commerce à Gruchet-le-Valasse, où un recouvrement de la craie par 10 mètres d'argiles et de silex rend la nappe localement captive, bien que décrochée de la rivière (hauteur de pression 5 mètres, décrochement 5 mètres).

Les sources exutoires de la nappe dans les rivières et dans la mer appartiennent à plusieurs types. Il existe ainsi des sources de dépression (écoulement diffus), des sources de débordement (écoulement souvent concentré par des fissures qui débouchent à la base des fonds de vallée remplis à ce niveau par des alluvions fines, comme les sources de la craie du Pays de Bray à écoulement inverse du pendage des couches) et les sources de déversement (débouchés de fissures sur des bancs de craie compacte dans les falaises, sources du versant est de la vallée de la Touques). Sur le littoral, excepté les sources d'Yport, les sources à fort débit existent à partir de Saint-Valéry-en-Caux et au NE de Dieppe, ceci dû au basculement des blocs dans le sens SW-NE, et à l'écoulement prédominant entre les bancs près de la mer.

2.3.5. Alimentation de la nappe de la craie, valeurs de l'infiltration, types de fluctuation de la nappe

Le climat de Haute-Normandie est de type tempéré océanique froid. Il est humide et les pluies sont assez bien réparties dans toute l'année. Les mois les plus arrosés sont en général août et décembre. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 10°C , les mois les plus chauds et froids étant respectivement juillet ($17,5^{\circ}$) et janvier ($3,4^{\circ}\text{C}$). La hauteur de pluie annuelle atteint la valeur maximale de 1 000 mm dans la

région de Bolbec et dépasse 900 mm sur le plateau de Caux. Elle dépasse 750 mm sur tout le territoire de la Seine-Maritime et la zone du département de l'Eure à l'ouest de la Risle. Plus à l'est, entre cette vallée et la Seine, la hauteur de pluie diminue jusqu'à environ 575 mm sur le plateau de Saint-André-de-l'Eure.

L'évapotranspiration débute au mois d'Avril et dure jusqu'au mois d'Octobre. Elle atteint les 2/3 de la hauteur de pluie annuelle. Sa valeur est calculée par les formules classiques, mais peut être évaluée à partir des bilans hydrauliques effectués sur de longues périodes calées sur les relevés piézométriques et/ou les débits des bassins versants. La nappe de la craie est une nappe libre alimentée directement par l'infiltration de la pluie à travers les formations superficielles y compris la Formation Résiduelle à Silex et par l'engouffrement des ruissellements dans les réseaux karstiques. Cette dernière part reste faible vis-à-vis du volume global de l'alimentation, y compris pour des sources situées en débouché de réseaux karstiques significatifs comme la source du Hannebot sur le bassin versant du Bebec (Massei, 2001)

L'alimentation de la nappe due aux pluies d'automne et d'hiver (environ le tiers de la pluie annuelle), atteint 400 mm sur l'échine du Pays de Caux, 350 mm dans l'ouest du département de l'Eure, 300 mm sur le littoral, le Pays de Bray et la vallée de la Seine, 250 mm et moins dans la plaine de Saint-André-de-l'Eure et le Plateau de Madrie. Elle atteint son maximum durant les mois de décembre et janvier. Ses variations sont importantes, de quelques dizaines de millimètres à des hauteurs de 500 mm. A l'examen des données connues, les périodes déficitaires se sont produites en 1971-73, 1989-91, 1996-98. Les excédents ont eu lieu en 1965-68, 1980-83, 1988-89, 1993-95, 1999-2001. Malgré les phénomènes d'évapotranspiration en été, la nappe subit une certaine recharge lors d'étés pluvieux, en particulier dans les zones d'infiltration rapide (zone de bêtouilles, vallées sèches et humides). Enfin, grâce à la reconstitution du niveau de la nappe à partir des hauteurs de pluie et des températures à l'aide du modèle GARDENIA, on a découvert que les recharges de la nappe avaient été beaucoup plus faibles durant la période 1946-65 que durant la décennie 1965-86.

Les fluctuations de la nappe sont de plusieurs types. Elles comportent des variations annuelles (5 m environ) et interannuelles (2 m) dans le Pays de Caux (très découpé par les vallées), du fait de la fonction à la fois capacitive et conductrice de l'aquifère ; en se rapprochant des niveaux de base (mer, Seine), l'emménagement inter annuel disparaît au profit de la fluctuation annuelle (moins de stockage disponible, accentuation de la fonction transmissive).

Dans les zones de plateau éloignées des niveaux de base et peu drainées (plateau du Neubourg, plaine de Saint-André-de-l'Eure, Roumois), la fonction capacitive de l'aquifère oblitère la variation annuelle au profit d'une variation inter annuelle réduite à 5 mètres et moins. Les variations maximales des niveaux de nappe ont atteint dans le Pays de Caux des valeurs de l'ordre de 25 à 30 m.

Les réseaux de fissures très développés (karstiques) donnent en périodes pluvieuses marquées des réponses instantanées de plusieurs mètres, et, dans les vallées, les réponses très brèves ont une amplitude de quelques décimètres. En période de forts excédents et de forts déficits, l'emplacement des sources peut se déplacer de plusieurs kilomètres, les débits augmentés ou réduits de plusieurs centaines de litres par seconde, et le lit majeur des rivières (zones rurales et certaines zones urbaines) inondés ou asséchés.

Les hautes et basses eaux annuelles se situent en moyenne respectivement au printemps et en automne. Enfin la durée de tarissement de la nappe des hautes eaux vers des basses eaux exceptionnelles est estimée à environ 3 ans. Le volume total de la nappe est estimé à une valeur de l'ordre de 15 milliards de mètres cubes avec une alimentation moyenne ou taux moyen de renouvellement égal à 2,4 milliards de mètres cubes).

2.3.6. Exploitation de l'aquifère de la craie

L'exploitation de la nappe semble d'après les données disponibles surtout destinée à l'alimentation humaine (usage AEP).

Depuis 1973, les industriels ont réduit leur consommation (eaux de surface, recyclage, réduction de l'utilisation d'eau dans les process). Cette réduction s'est fait sentir surtout dans les zones industrielles rouennaises où les prélèvements, en créant des cônes d'appel permanents de 2 à 3 km de long et de plusieurs mètres de profondeur, induisaient une alimentation de la nappe par la Seine. Cette réduction des pompages a provoqué la remontée du niveau de la nappe et une réduction très importante des cônes d'appel. Ce phénomène a été la cause d'inondations de parkings et d'ouvrages souterrains. L'alimentation de la nappe par la Seine n'est devenue que locale.

L'alimentation agricole était peu développée. On assiste cependant au développement non négligeable de l'irrigation, notamment dans le SE de l'Eure sur le plateau de Saint-André-de-L'Eure et dans la vallée de l'Eure, soit sur les bassins versants les moins arrosés comme conséquence du retournement des prairies au profit des cultures, plus exigeantes en eau.

Le volume prélevé pour l'eau potable (eau domestique des ménages en supprimant la satisfaction des autres besoins par les réseaux collectifs) s'élève à environ 70 millions de mètres cubes par an ce qui représente 3% de l'infiltration moyenne annuelle (2,4 milliards de mètres cubes).

Les villages et villes moyennes sont regroupés en syndicats de « production-distribution ». Mais Il tend à se créer des collectivités de production plus importantes dans les zones de productivité difficile et de vulnérabilité de la nappe forte, associés à des réseaux d'interconnexions. Les puits de plateau faiblement productifs et les sources d'origine karstique produisant des eaux troubles en période pluvieuse, sont progressivement abandonnés au profit des forages en vallées humides de couverture en herbe ou forestière.

On cherche à échapper ainsi aux produits phytosanitaires, aux nitrates, aux contaminations bactériologiques et aux phénomènes de turbidité. Ces derniers sont provoqués par l'absorption des eaux de ruissellement dans les bêttoires. Ils sont induits par les pluies d'orages estivaux et les fortes précipitations automnales et hivernales sur les sols nus « battants ». Les particules limoneuses sont arrachées aux sols et introduites ou remises en mouvement dans les réseaux karstiques. L'objectif est d'exploiter l'aquifère encaissant le karst et de réduire les débits unitaires par ouvrage, quitte à multiplier le nombre d'ouvrages pour répondre aux besoins. L'aquifère est exploité dans la tranche 10-30 mètres de profondeur, sauf exception. Une

transmissivité qui est comprise entre 5×10^{-3} et 2×10^{-2} m²/s est une garantie de bonne qualité quant à la turbidité et à la bactériologie.

La ville d'Evreux, alimentée actuellement par le champ captant de l'hippodrome et de Canappeville situé juste en amont dans la vallée de l'Iton, a entamé une opération de diversification de ses ressources et de sécurisation de son alimentation. De nouveaux sites ont été répertoriés et sont en cours d'étude. Le Havre et Rouen ont déjà mis en place cette alimentation diversifiée et parfois très éloignée de la ville (quelques dizaines de km).

3. Méthodologie employée pour la réalisation des bilans hydriques

3.1. PRINCIPE DU BILAN

Le bilan hydrique sur un bassin versant s'appuie sur le principe de conservation de masse au sein d'un système hydrologique (fig. 4) : les flux entrants sont compensés à chaque instant par les flux sortants et les variations de stock au sein du système hydrologique.

$$\Phi_{\text{entrant}} = \Phi_{\text{sortant}} + \delta(\text{stock})$$

L'étude des bilans quantitatifs consiste d'abord à s'assurer que les estimations des différents termes s'équilibrent bien entre elles. Dans le cas contraire, les estimations peuvent être améliorées pour une meilleure représentativité et/ou de nouvelles hypothèses expliquant l'anomalie sont à proposer.

3.1.1. Bilan à l'entrée

A l'entrée du système, ce sont les pluies qui s'infiltrant ou ruissellent qui constitue l'unique terme d'entrée. Une partie des pluies va s'évaporer directement ou indirectement via les plantes : c'est le phénomène d'évapotranspiration.

$$\Phi_{\text{entrant}} = P - \text{ETR} = P_e$$

où

P : Précipitations

ETR : Part d'Evapotranspiration réelle

P : précipitations efficaces

La part efficace des pluies qui rentrent dans le système s'infiltrant ou ruisselle

$$P_e = R + I$$

Dans le paysage bocager normand traditionnel, la part globale de ruissellement était estimée comme très faible, inférieure à 5 % : une partie des ruissellements se réinfiltrant en effet dans le sol progressivement le long du fil d'eau ou finit par s'engouffrer à hauteur des nombreuses pertes karstiques (bétoires).

A l'échelle de la région, la part de ruissellement était estimée comme inférieure à 10 %. Les changements récents dans le paysage, tels que l'assainissement agricole ou la suppression des éléments bocagers traditionnels, ont pu modifier par endroits de manière significative la part des écoulements rapides.

3.1.2. Bilan à la sortie

En sortie du système hydrologique, il existe deux termes différents :

$$\Phi_{\text{sortant}} = Q + P$$

où

- Q : débit total du cours d'eau
- P : prélèvements

On notera que le débit total de la rivière est assuré pour partie par le débit ruisselé Q_r issu du ruissellement R, et pour partie par le drainage topographique des nappes après infiltration I, débit drainé Q_d .

$$Q = Q_r + Q_d$$

Le débit ruisselé est très variable, nul en période sèche durable et avec des pics courts et très élevés en périodes pluvieuses intenses.

Le débit drainé dépend des fluctuations de niveaux de la nappe : il varie généralement peu et lentement.

A partir d'une chronique de débit (hydrogramme), il est souvent possible d'estimer la part du débit drainé (allure de base de la courbe) des épisodes de crues et décrues rapides (débit ruisselé).

Les prélèvements peuvent se faire dans les nappes ou sur les rivières. On notera qu'une partie des prélèvements est, après usage, généralement renvoyé dans le milieu sous forme de rejets : on considérera comme volume de prélèvements à prendre en compte dans les bilans que la partie de prélèvement non renvoyée dans le milieu naturel.

3.1.3. Variations de stock au sein du système hydrologique

Les aquifères peuvent au fil du temps stocker et déstocker une partie des eaux infiltrées.

Si les apports sont supérieurs aux sorties du système (sources, drainances topographiques des cours d'eaux), il y aura stockage d'eau dans les aquifères.

Dans le cas contraire, il y aura déstockage d'eau des aquifères.

Ce stockage/déstockage d'eau se fait principalement dans la zone non saturée du sol au-dessus de la nappe. Dans le cas d'un aquifère supposé à l'échelle globale, comme homogène et isotrope, comme l'est la craie, les variations de volumes peuvent s'exprimer sous la formule suivante :

$$\delta(\text{stock}) = S * \delta h * A$$

où

h est la hauteur piézométrique (moyen du système).

A est l'aire du système

S est le coefficient d'emmagasinement moyen de la nappe (S est avec la transmissivité T les deux paramètres caractéristiques de base d'une nappe homogène, poreuse et isotrope).

On notera que les variations de hauteurs piézométriques d'eaux s'effectuent avec plus ou moins d'inertie car il s'agit d'un régime d'écoulement gravitaire lent, régi par la perméabilité et donc la transmissivité du milieu (la transmissivité étant le produit du coefficient de perméabilité par l'épaisseur efficace de la zone saturée).

De plus, l'alimentation des nappes ne se fait qu'en hiver, quand l'évapotranspiration est faible : les apports d'alimentation ne sont pas continus mais saisonniers. Le drainage de la nappe par les cours d'eaux s'effectue en permanence : les pertes sont continues. Les variations de volume de l'aquifère peuvent donc fluctuer fortement dans l'année, et d'une année sur l'autre.

Toutes ces raisons font que les variations de volume des nappes ne peuvent bien s'observer que dans la durée, sur des cycles pluriannuels.

De plus, dans la ZNS (Zone Non Saturée du sol) entre la surface et la nappe, il existe aussi des variations de volume d'eau présent dans ce compartiment, liées aux eaux d'infiltration en transit. Ces variations s'équilibrent dans la durée (la ZNS n'étant qu'une zone de transit) et demeurent surtout très mal connues (ces variations de saturation au sein de la ZNS jouent un rôle notable dans la survenue plus ou moins rapide et généralisée des remontées de nappes par exemple).

Une autre conséquence de la ZNS est d'introduire une légère dissymétrie à hauteur piézométrique égale de comportement de l'aquifère, à hauteur piézométrique égale, selon que les fluctuations du niveau piézométrique sont à la baisse ou au contraire à la remontée : le coefficient d'emmagasinement S varie légèrement de la décrue à la recharge (mais généralement bien en deçà de la limite d'incertitude sur la valeur de S).

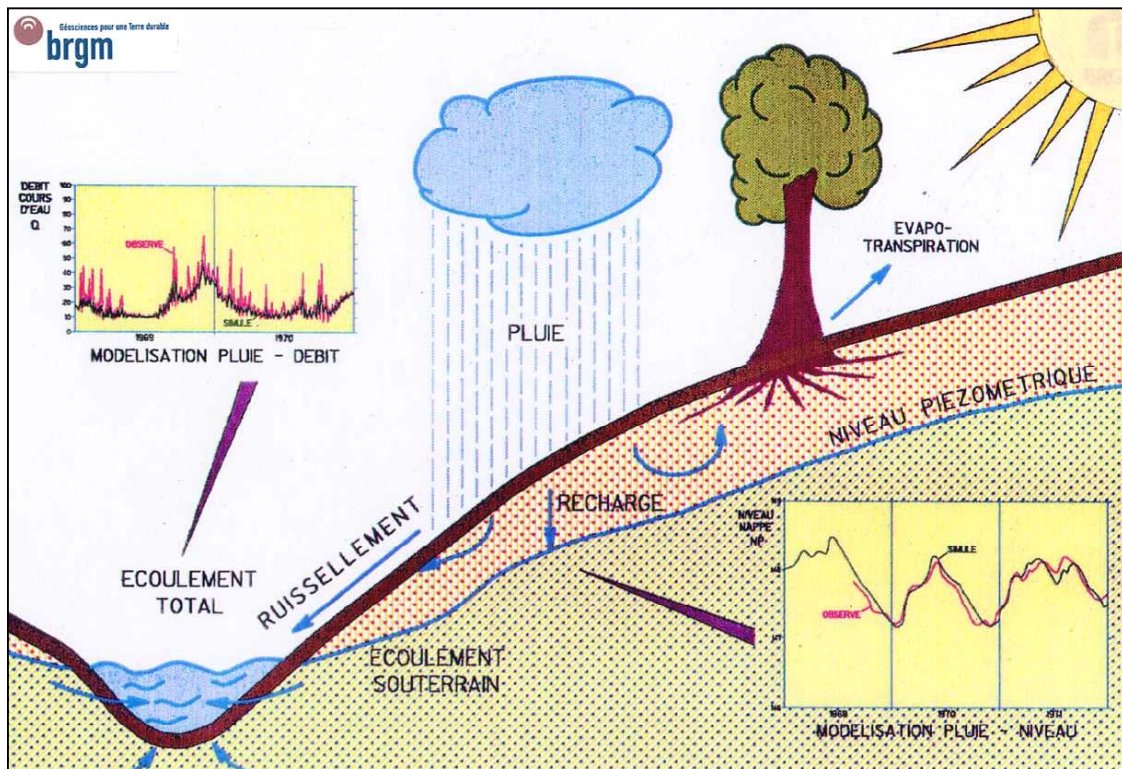


Fig. 4 - Schéma hydrologique illustratif du bilan hydrique quantitatif (Gardenia, ©BRGM)

3.1.4. Equilibre du bilan

De nombreuses données (hydrologiques et climatiques) sont nécessaires pour arriver à quantifier les différents flux du bilan à l'échelle. L'équilibre du bilan dépend largement de ces données souvent complexes et du degré d'incertitude de ces données. La précision sur l'équilibre du bilan ne pourra pas dépasser la marge d'incertitude liée aux données.

C'est donc un examen critique des données qui constitue la première étape des bilans.

Les connaissances sur les paramètres moyens de nappes à l'échelle des bassins versants étant particulièrement critiques (presque nulles), il est généralement travaillé, pour simplifier le bilan, sur des intervalles de temps où les variations de stockage/déstockage dans la nappe sont nulles.

Dans ce cas, le bilan sur le bassin versant devient pour les valeurs moyennées des différents termes du bilan :

$$\Phi_{\text{entrant}} = \Phi_{\text{sortant}} = P_e = R + I = Q + P$$

Une fois calé le bilan dans les limites des données disponibles, il reste ensuite à analyser rapidement les parts respectives de tous les termes des flux supposés

représentatifs, pour apprécier les fortes pressions locales d'usage de la ressource aquifère et les possibilités complémentaires d'usage de la ressource.

3.2. DOUBLE METHODE

La réalisation des bilans s'est faite selon deux applications différentes et complémentaires.

La première approche classique a consisté à réaliser des classiques bilans globaux à l'échelle de tous les bassins versants, selon la méthode indiquée dans le cahier des charges (calcul de la précipitation efficace et comparaison avec les débits en rivières et les prélèvements).

Ces bilans ont été réalisés sur des périodes considérées comme moyennes : sans variation significative de stock de la nappe. Lorsque les chroniques de données sont longues, cette période est sensiblement identique d'un bassin à l'autre (15 à 25 ans). Une fois ces bilans équilibrés et commentés, un rapide examen de l'évolution des bilans à des situations extrêmes a été esquissé en période de sécheresse (1976) et d'inondations (2001).

A coté de cette approche par bilan moyen global classique, il a également été réalisé des bilans par modélisation à l'aide du logiciel GARDENIA.

Ce logiciel permet de faire des modélisations pluies-niveaux (simulations sur les hauteurs piézométriques) et pluies – débits (bilan hydrique complet à hauteur des situations de jaugeages). Ces simulations permettent alors une meilleure estimation des paramètres réels, et de visualiser les fluctuations du bilan d'une année sur l'autre. Un descriptif plus complet du logiciel GARDENIA est donné en annexe 1.

Comme il s'agit malgré tout d'un logiciel de modélisation, demandant un minimum de données sur les bassins versants pour fonctionner, que les temps à consacrer restent plus lourds que par la méthode classique globale (cette option n'ayant pas été proposée dans le projet), il n'a été traité que quelques bassins versants à titre de test (BV Epte, BV Iton, BV Risle jusqu'à Pont Authou).

4. Examen des données

Cet examen des données (fig. 5) est d'autant plus impératif que l'ensemble des données nécessaires aux bilans s'avère provenir de nombreuses origines différentes, disparates sur le territoire et selon les disciplines, plus ou moins faciles à acquérir, et avec des degrés d'incertitude très variables.

Les données nécessaires

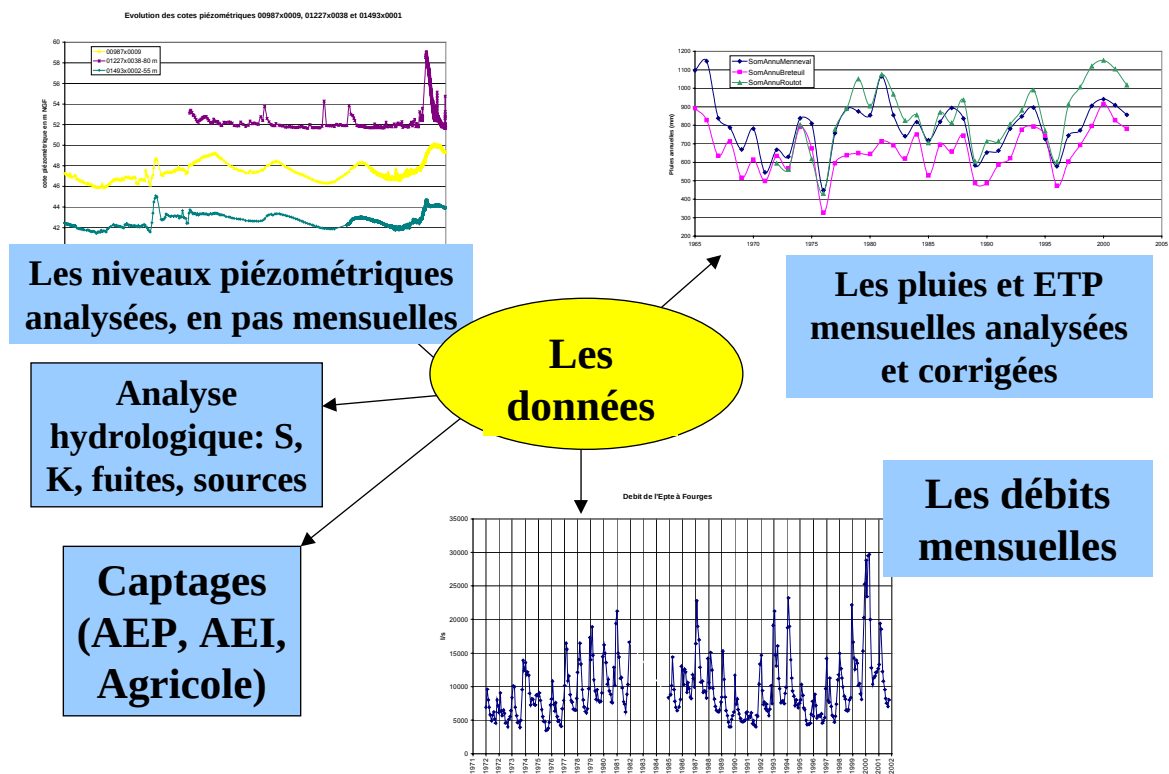


Fig. 5 - Données du bilan hydrique quantitatif

Ces différentes sources de données vont être examinées une à une ci-dessous.

4.1. BASSINS VERSANTS

La délimitation des bassins versants a été l'un des premiers aspects examinés.

Il avait été décidé initialement d'utiliser le fichier des bassins versants hydrographiques de surface élaborés dans le cadre du projet Aléa Erosion des sols.

Or, le découpage en question des bassins versants élaboré pour l'échelle régionale ne s'est pas avéré pertinent car il n'avait pas :

- distingué le sous-bassin de l'Avre du bassin complet de l'Eure,
- intégré les parties des bassins versants hors de la région, dans les parties amont (Risle, Charentonne, Avre) ou frontalières (Avre et Epte).

Il existe par ailleurs un découpage du territoire national des bassins versants (dans BDCarthage), et qui avait fait l'objet d'une mise à jour récente (version 3).

Les bassins versants découpés dans Bdcarthage sont de plus petites unités que les bassins versants du fichier aléa érosion mais par assemblage de ces petites unités entre elles, il a été facile de disposer d'un fichier équivalent à celui d'aléa érosion mais sans les mêmes inconvénients.

La comparaison des limites des deux fichiers en question a permis de constater que les différences restent très réduites (annexe 2).

La comparaison des bassins versants de surface a été aussi faite avec les bassins souterrains (limites issues de l'atlas de 1989) : elles ont montré que les limites restaient très peu différentes du système de surface à celui en souterrain (annexe 2) .

Le fichier des bassins versants de surface issu de BdCartage a donc été retenu pour la réalisation des bilans hydriques (fig. 6).

Les bassins versants ainsi définis ont les superficies suivantes :

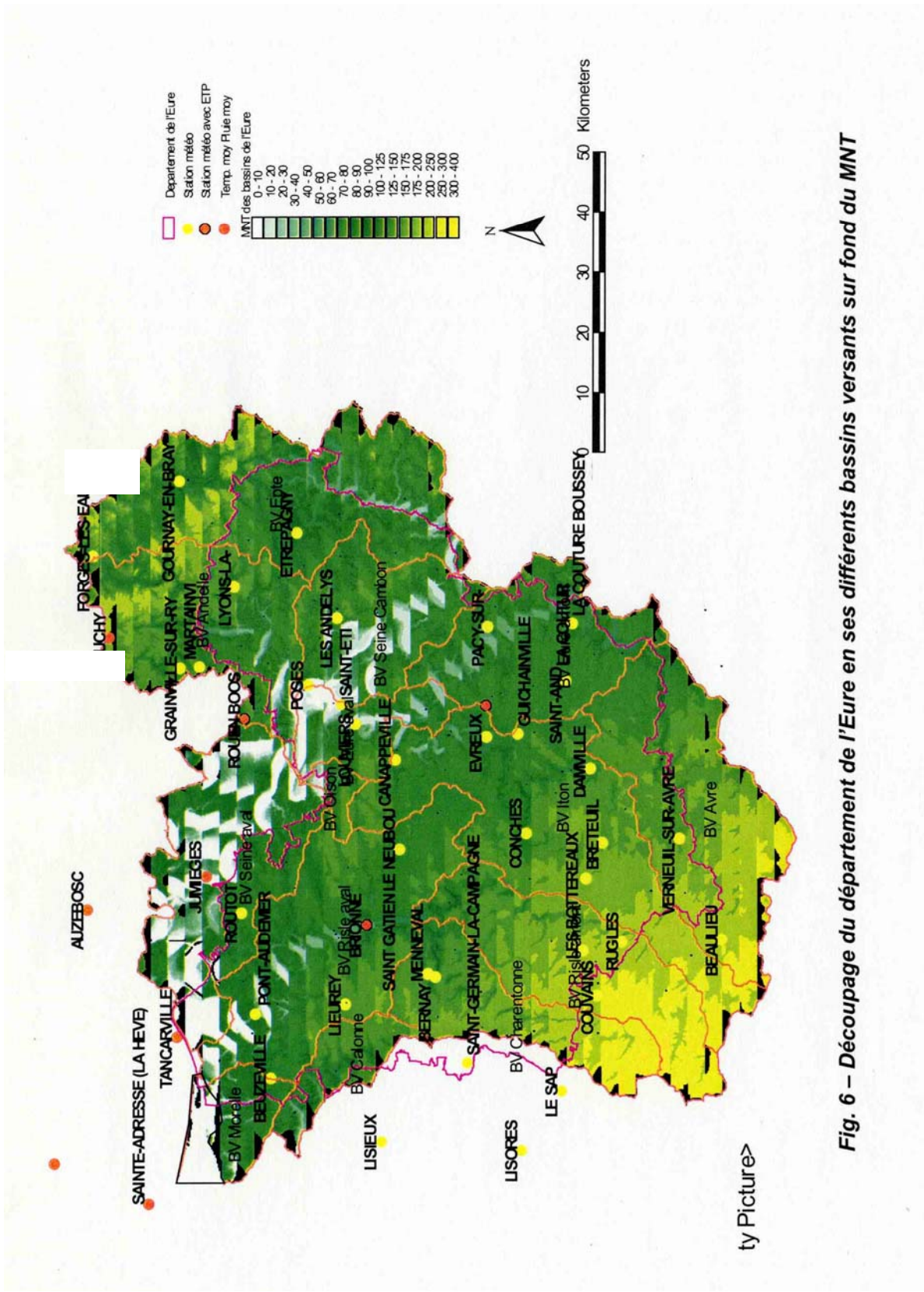
Bassin Versant	Localisation	S (km ²)
BV Oison	La Seine du confluent de l'Eure (exclu) au confluent de la Vallée de l'Oison (inclus)	63
BV Seine aval	La Seine du confluent de la Vallée de l'Oison (exclu) au confluent du ruisseau du Commerce (exclu)	931
BV Morelle	La Morelle de sa source au confluent de la Seine à l'embouchure	250
BV Charento	La Charentonne de sa source au confluent de la Risle (exclu)	515
BV Risle amont	La Risle de sa source au confluent de la Charentonne (exclu)	751
BV Iton	L'Iton de sa source au confluent de l'Eure (exclu)	1196
BV Eure amont	L'Eure du confluent de l'Avre (exclus) au ruisseau d'Authueil (inclus)	975
BV Eure aval	L'Eure du confluent du ruisseau d'Authueil au confluent de l'Iton (exclu)	261
BV Seine Cambon	La Seine du confluent de l'Epte (exclu) au confluent de l'Andelle (exclu)	686
BV Andelle	L'Andelle de sa source au confluent de la Seine	552
BV Epte	L'Epte de sa source au confluent de la rivière Seine	789
BV Risle aval	La Risle du confluent de la Charentonne (exclu) au confluent de la Seine	1173
BV Avre	L'Avre de sa source au confluent de l'Eure (exclu)	1055
BV Calonne	La Calonne de sa source au confluent de la Touques (exclu)	205

Tabl. 1 - Superficie des bassins versants

La répartition des stations de mesures hydrologiques (fig. 7) est dans l'ensemble assez homogène à l'échelle des différents bassins versants.

On notera toutefois que :

- les plus petits bassins versants ne sont pas suivis (Morelle, Oison),
- certains bassins versants n'ont pas de station de mesures du débit dans leur aval (Risle aval, Eure, aval, Seine aval).



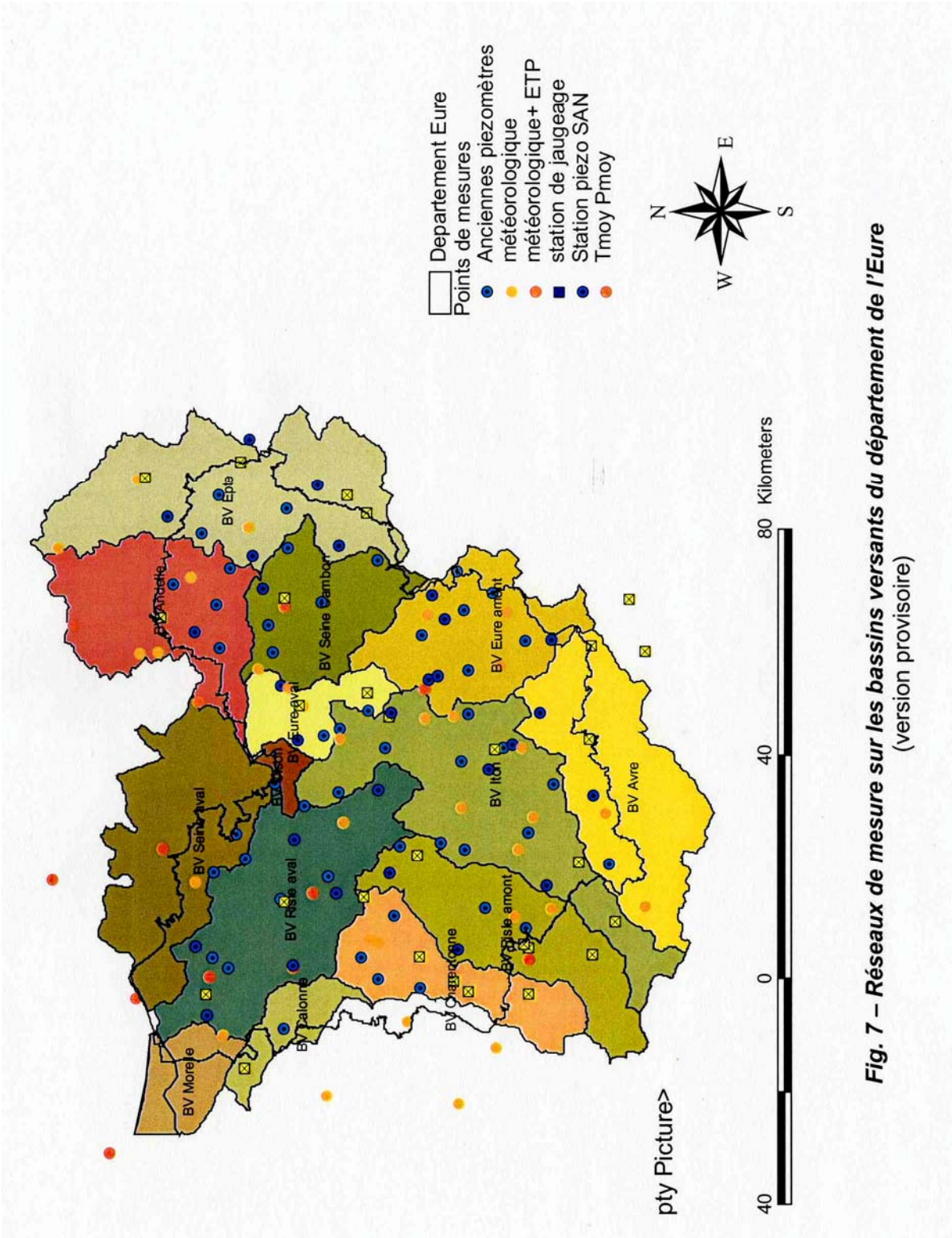


Fig. 7 – Réseaux de mesure sur les bassins versants du département de l'Eure
(version provisoire)

4.2. DONNEES D'ENTREE

4.2.1. Le réseau d'observation climatologique

Nous disposons de 52 postes pluviométriques du département et ses abords immédiats, dont 4 fournissent également l'Evapotranspiration potentielle (ETP).

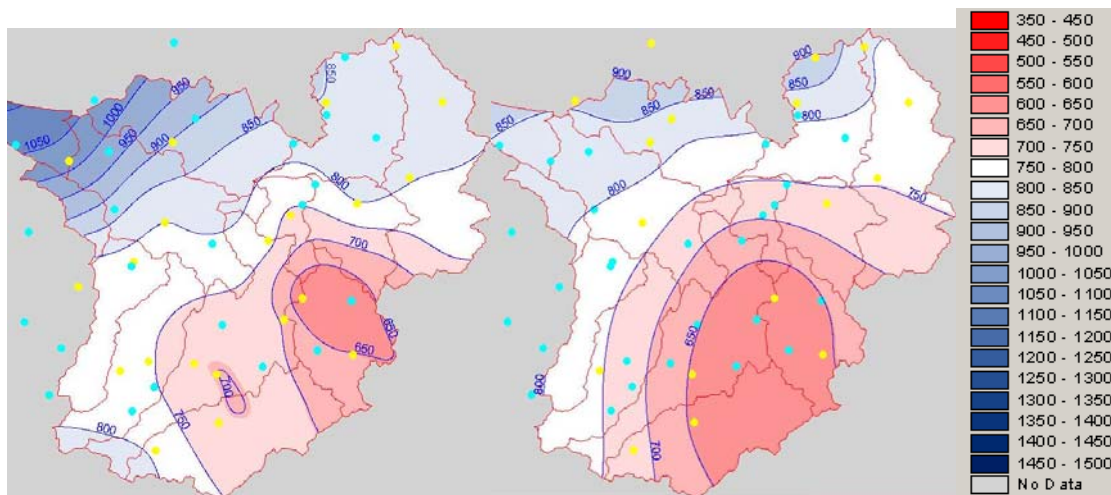
La pluviométrie moyenne est calculée à partir des 52 postes sur différentes périodes. Pour les calculs des isodensités de pluie, il faut avoir des données sur les périodes comparables. Or, les chroniques concernent des périodes souvent différentes : certaines anciennes stations ne sont plus utilisées et d'autres ont été ouvertes plus tardivement.

Par rapport aux données disponibles, les calculs ont porté sur différentes périodes caractéristiques :

- 1) Les pluies de 1972 à 2000,
- 2) Les pluies de 1991 à 1999/2000.

Cette seconde période est caractérisée par des pluies moyennes de 5 % plus fortes que la période de 1972 à 2000.

Après interpolation (méthode d'interpolation Spine/Tension, retenue comme meilleur moyenne d'interpolation), un rapide aperçu des cartes obtenues montre clairement la grande variabilité de la pluviométrie.



**Fig. 8 - Cartographie des isovaleurs moyennes annuelles de pluies en mm
(gauche : 1991-2000 ; droite : 1972-2000),
méthode d'interpolation : Spine / Tension**

Le gradient de pluviométrie est assez marqué sur le département de l'Eure.

La pluviométrie faite à des différentes périodes, moyenne, humide et sèche, montre des valeurs maximales au nord et à l'ouest du département. Elle décroît vers le sud-est du département, où les valeurs sont jusqu'à 2 fois plus petites. Ainsi, les zones entre les hautes vallées de la rivière Risle, de la rivière Iton et la zone au sud-est de l'Evreux

sont les moins arrosées (moyenne < 600 mm). C'est la zone entre Honfleur et Lisieux à l'ouest du département qui est la plus arrosée avec plus que 850 mm.

La variabilité inter annuelle est aussi très prononcée pour le département de l'Eure.

Afin de calculer les moyennes par bassin versant, des triangles de Thiessen ont été retenus afin de prendre en compte la répartition inhomogène, tant d'un point de vue spatiale que des tailles des chroniques disponibles de données, et de calculer une intensité pluviométrique moyenne par bassin versant.

Les figures présentant les calculs de pluviométrie effectués sur différentes périodes illustrent cette différence (les points jaunes indiquent les valeurs disponibles sur la période considérée) :

- La période récente de 10 ans, moyenne de 1991 à 2000 sur 21 postes
- La période ancienne, moyenne de 1932 à 1960 sur 19 postes
- Moyenne 1972-2000 sur 21 postes
- Moyenne 1972-2000 et 1991-2000 (0-15 % supérieur à 1972-2000) sur 29 postes

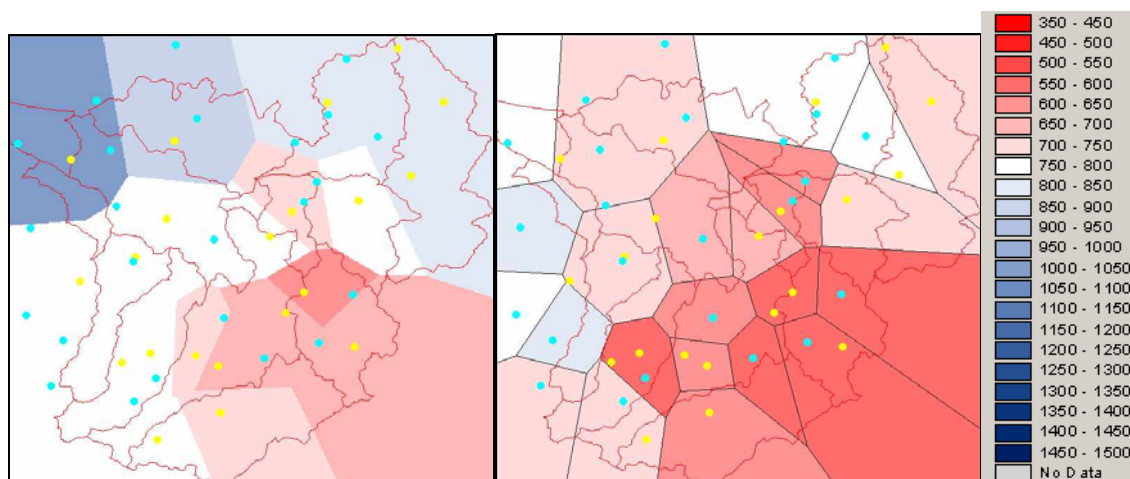


Fig. 9 - Valeurs moyennes de pluies en mm sur la période 1991-2000 à gauche et sur la période 1932-1960 à droite

Nous avons choisi deux années récentes pour une comparaison (fig. 10) d'une année sèche (1996, 532 mm moyenne départementale) par rapport à une année humide (1999, 938 mm de moyenne départementale). L'étude de la variabilité interannuelle (1996-1999) montre alors une différence de 176 %.

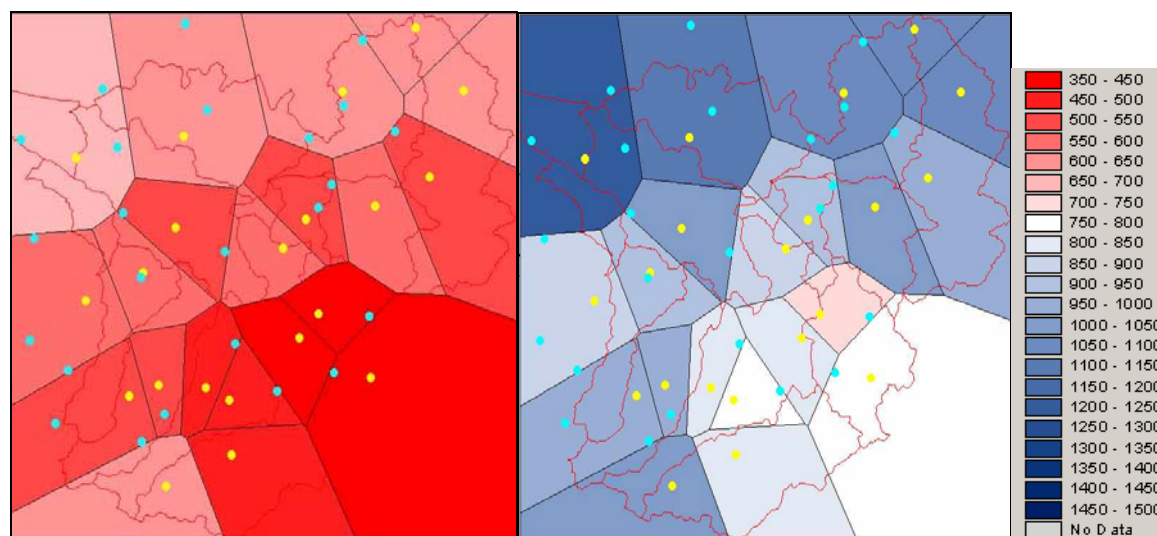


Fig. 10 - Valeurs annuelles extrêmes de pluies en mm, avec à gauche 1996, année sèche et à droite une année humide 1999/2000

On retient pour le calcul des moyennes par bassin versant la moyenne calculée à partir des points de mesures ayant une chronique complète (1972 à 2000), en sachant que la densité de ces points est faible. Nous avons alors également utilisé les stations ayant des valeurs sur la période 1991 à 2000, en sachant que des valeurs des pluies de cette dernière période sont en moyenne 5 % plus élevées.

Bassin Versant	1991-2000 (mm)	1972-2000 incluant les points de 1991-2000 (mm)	1972-2000 (mm)	Rapport 1972- 2000/1972-2000 incl. points 1991-2000 (%)
BV Oison	753	752	764	1.6
BV Seine aval	878	825	833	1.0
BV Morelle	1015	1002	857	-14.5
BV Charentonne	774	770	761	-1.2
BV Risle amont	762	752	742	-1.3
BV Iton	719	697	654	-6.2
BV Avre	716	661	660	-0.2
BV Eure amont	646	640	633	-1.1
BV Eure aval	730	730	685	-6.2
BV Seine Cambon	774	728	726	-0.3
BV Andelle	821	807	810	0.4
BV Epte	808	770	770	0.0
BV Risle aval	855	826	787	-4.7
BV Calonne	949	949	802	-15.5

Tabl. 2 - Variabilité des pluies moyennes sur les différents bassins selon les périodes considérées

En utilisant toutes les données disponibles (1972-2000, incluant les chroniques limitées à 1991-2000), on obtient ainsi pour les différents bassins versants les pluies moyennes suivantes (fig. 11).

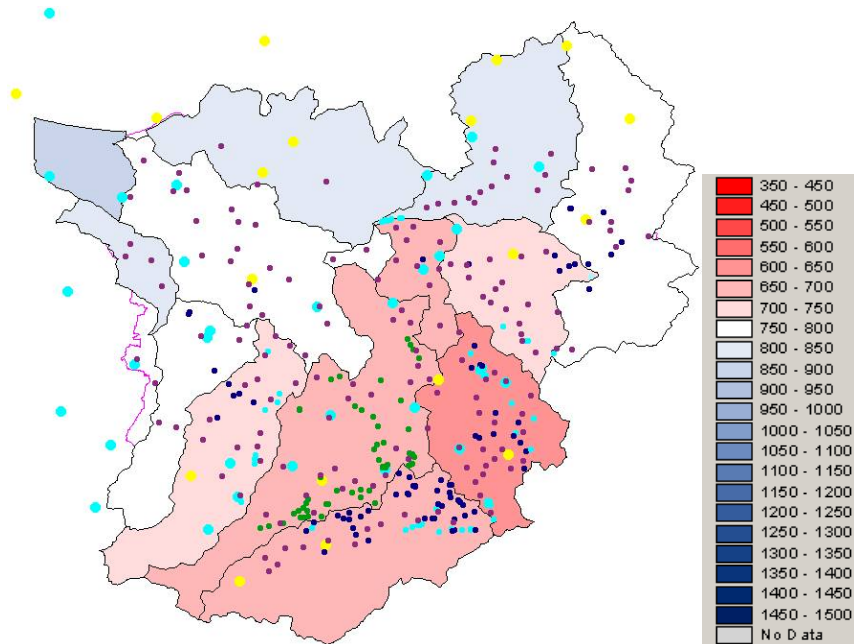


Fig. 11 - Pluies moyennes annuelles en mm sur les 14 bassins

Compte tenu de la variabilité des pluies, des erreurs sur la mesure des pluies, de la représentativité des stations à l'échelle des BV, la marge d'erreur pour les valeurs moyennes de pluies sur les BV est $> 10 \%$, voire $> 15 \%$.

Des valeurs de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) sont disponibles sur 4 stations différentes

- Evreux Huest (1971-2002)
- Rouen Boos (1971-2002)
- Saint-Gatien-des-Bois (1972-2002)
- Couvains (1972-2002).

Les valeurs de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) sont les valeurs fournies par METEO France, calculées à partir de la méthode de Penman ou de Penman-Montheil (Couvains).

Il faut prendre en compte que la méthode de calcul a pu varier au fil des années : ainsi, sur Evreux, la mesure du vent nécessaire pour le calcul de l'ETP n'a été fiabilisée que dans le début des années 1980.

Les écarts des valeurs des différents postes sont relativement faibles (fig. 12).

La variabilité spatiale de l'ETP est peu marquée, à la différence des pluies.

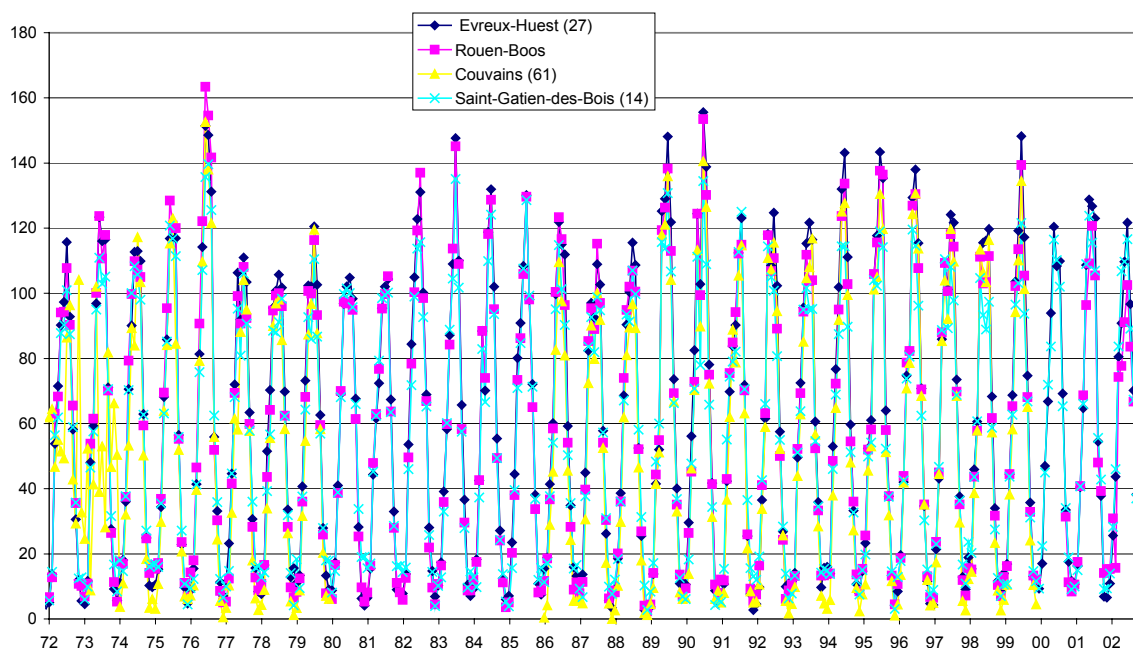


Fig. 12 - Comparaison des valeurs ETP sur les stations d'Evreux-Huest, Rouen-Boos, Couvains et Saint-Gatien-des-Bois

Il faut prendre en compte que les valeurs calculées par Météo France sont faites dans des conditions maîtrisées qui limitent les incertitudes de la mesure de l'ETP : cette détermination demande en effet la mesure simultanée de plusieurs paramètres (température, ensoleillement, vent, humidité), mesures diverses qui augmentent la marge d'incertitude totale du paramètre.

Les stations Météo France mesurant l'ETP sont généralement implantées sur les aéroports, en milieu engazonné, contexte qui n'est pas toujours bien représentatif des conditions réelles rencontrées sur les bassins versants. Des variations importantes sur les hypothèses de départ peuvent être envisagées en utilisant les valeurs d'ETP et de Météo France pour les bassins versants (de - 20 % à + 20 %).

4.2.2. Evaluation de la précipitation efficace

Le calcul de la précipitation efficace (Pe) ne peut se déduire uniquement des paramètres climatiques mesurés, pluie et ETP.

L'évapotranspiration potentielle ETP n'est que la valeur maximale que peut atteindre l'évapotranspiration réelle ETR.

En période estivale, la valeur de l'ETP dépasse presque toujours la valeur des précipitations. De plus, les sols se saturent en surface en hiver (excédents d'eau par rapport à l'ETP) et lorsque la pression de l'ETP augmente au printemps, cette eau accessible à l'évaporation et aux plantes va finir par s'évaporer et les sols se désaturent en surface. On parle de réserve facilement utile des sols (RFU). Ce réservoir a une capacité limitée, appelé RFU_{max}.

$$ETR = \text{MIN}(ETP, P + RFU)$$

Où

MIN (A,B) : valeur minimale entre A et B

P = Précipitations

RFU est la valeur en début du pas de temps considéré

$$0 \leq RFU \leq RFU_{\text{max}}$$

Une fois le calcul de ETR fait, on réactualise la valeur de la RFU :

$$RFU' = \text{MAX}(RFU_{\text{max}}, P + RFU - ETR)$$

Et on calcule la valeur de pluie efficace

$$Pe = P - ETR - \text{DRFU} = P - ETR - (RFU' - RFU)$$

Autrement dit, les pluies alimentent en priorité l'Evapotranspiration. Si les pluies sont insuffisantes ($P < ETP$), l'eau de sub-surface essaie de compléter à son tour (jusqu'à vider totalement au besoin la RFU).

Si les pluies sont au contraire suffisantes, l'ETR est égale à l'ETP, l'excédent d'eau sert à recharger la RFU jusqu'à sa valeur maximale, et lorsque cette dernière est pleine à son tour, le reste constitue la part de précipitations efficaces et il y a alimentation de la nappe.

Les précipitations efficaces restent nulles tant que les sols ne se sont entièrement resaturés ($RFU = RFU_{\text{max}}$). Cette valeur de RFU_{max} est mesurée par les agronomes qui dressent des cartes d'isovaleurs en fonction de la nature pédologique des sols cultivés.

Le principe de mesure de la RFU Max s'intéressant plus au sol (saturation) qu'au sous-sol (précipitation efficace), la très forte variabilité obtenue des valeurs, les conditions non naturelles des sols examinés, ne permet pas une utilisation simple de ces cartes faites par les agronomes pour les calculs à l'échelle des bassins versants pour les hydrogéologues.

La RFU_{max} est déterminée la plupart du temps de manière empirique. Elle est, soit fixée à une valeur donnée, soit choisie après test de différentes valeurs hypothétiques ou de manière réursive. Les valeurs de la RFU_{max} varieraient entre 50 et 200 mm. Dans la région, elle est généralement fixée par défaut à 100 mm (ou parfois 80 mm). Dans les bilans hydriques réalisés dans le passé par le BRGM (1971 à 1980) ou le BURGEAP (1971-1975), la RFU_{max} oscille entre 60 à 110 mm.

Le logiciel GARDENIA utilise aussi cette manière de calculer les précipitations efficaces et peut rechercher la valeur de RFU_{max} qui correspond le mieux.

Le calcul des précipitations efficaces a été réalisé individuellement sur chaque bassin versant (issu des bilans moyens globaux). Ces calculs individuels ont nécessité un certain nombre d'hypothèses, à chaque fois spécifiques : il s'agit donc de valeurs **interprétées**.

La carte des précipitations efficaces suivante (fig 9) doit donc être considérée clairement comme un document interprété et non comme un document factuel.

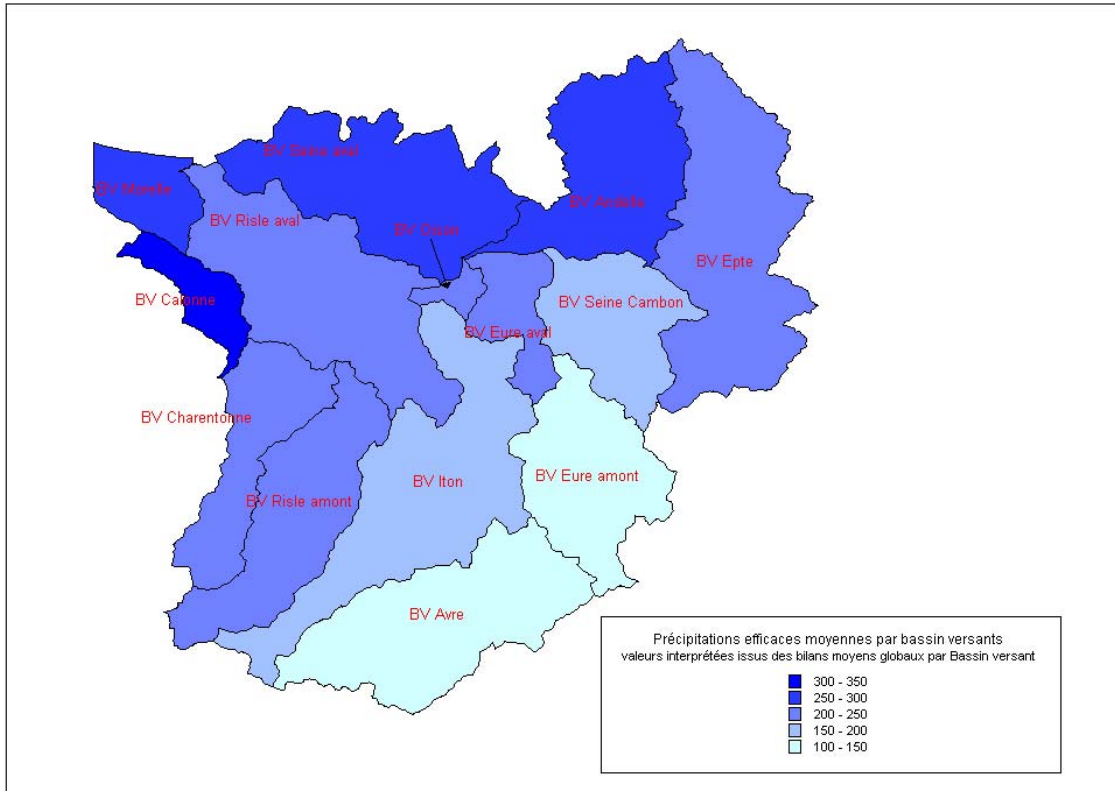


Fig. 13 - Cartographie interprétée des précipitations efficaces par bassin versant

Les valeurs de précipitations efficaces moyennes obtenues après interprétation, évoluent entre 133 mm (Avre) jusqu'à 314 mm (Calonne), pour une moyenne de 201 mm.

Les précipitations efficaces moyennes obtenues après interprétation représentent entre 21% (Avre) et 36 % (Calonne) de la pluviométrie moyenne, pour une moyenne de 28 %.

4.3. DONNEES DE SORTIE

Les données de sortie ont été fournies par :

- la DIREN HNO pour les données de débit sur les stations de jaugeage,
- la DIREN CEN pour les données de débit sur les stations de jaugeage de l'Eure et de la Blaise,
- la DIREN IDF pour les données de débit sur la station de jaugeage de Poses,
- la banque HYDRO pour la station de la Calonne (non fournie par la DIREN BNO),
- la DIREN HNO pour le fichier numérisé de l'ensemble des débits des sources (données BRGM anciennes numérisé par la SEMA),
- l'AESN Seine Aval pour les données de prélèvement (données fournies également par l'AESN Bocages Normands pour les amonts bas normands des bassins versants de la Risle, Iton et Avre),
- la DDAF de l'Eure pour les déclarations ou autorisations faites aux irrigants au titre de la Police des Eaux.

Les données piézométriques ont également été utilisées pour aider au calage des systèmes (sous GARDENIA), pour estimer les périodes à stockage/déstockage de l'aquifère souterrain nul, et apprécier les capacités de stockage et déstockage en période extrême. Toutes ces données piézométriques sont celles collectées par le BRGM.

4.3.1. Données de débit en rivière

Si le réseau de points est assez important (fig. 14), l'utilisation de ces données est soumise à un certain nombre de limitations :

- le réseau a évolué au fil du temps : sur les périodes considérées, les chroniques ne sont pas toujours adaptées (points anciens abandonnés, mise en route trop récente pour d'autres points...) ;
- la qualité de l'équipement et de son historique sur les points, le rythme des mesures, la dérive possible des courbes de calages hauteurs/débits et la forte réactivité des débits modifie pour beaucoup la qualité de la mesure. La fiabilité des chroniques est variable d'un point à l'autre et rend très aléatoire la comparaison de deux chroniques différentes sur le même cours d'eaux ;
- certaines stations ne mesurent pas la totalité du débit dans la vallée (au sens de débit de sortie du bassin versant). C'est le cas à Poses, où une partie du débit transite dans le système alluvial. C'est le cas à Normanville, où une partie de l'écoulement de sortie se fait en souterrain dans le système alluvial et même dans le milieu crayeux.

Dans les parties de cours d'eaux soumis à effet de marée (Risle aval, Seine, Eure aval) où la mesure est plus difficile à acquérir, il n'a pas été mis en place de stations de débits.

Sur le site Web de la DIREN HNO, une première estimation de la fiabilité des chroniques sur chaque station de jaugeage est fournie, qui peut qualifier au minimum de 5 à 10 % (estimation très bonne) à plus de 30 % (estimation grossière).

De plus, certains bassins versants ne sont pas ou peu couverts :

- sur le bassin versant de l'Oison, on ne dispose que d'une courte chronique de débits ponctuels,
- sur le bassin versant de la Morelle, on ne dispose sur la quasi-totalité des cours d'eaux côtiers que 1 ou 2 valeurs de débits ponctuels.
- sur la Seine, on ne dispose de chroniques à rythme régulier que sur Rouen (chronique ancienne sur un point abandonné), Poses (débit partiel) et Poissy (en amont assez lointain). Une estimation de débit moyen peut aussi être faite sur Caudebec-en-Caux. Sur les périodes étudiées, on ne dispose d'aucune chronique fiable sur la Seine à hauteur des deux bassins considérés (Seine Aval, Seine Gambon).

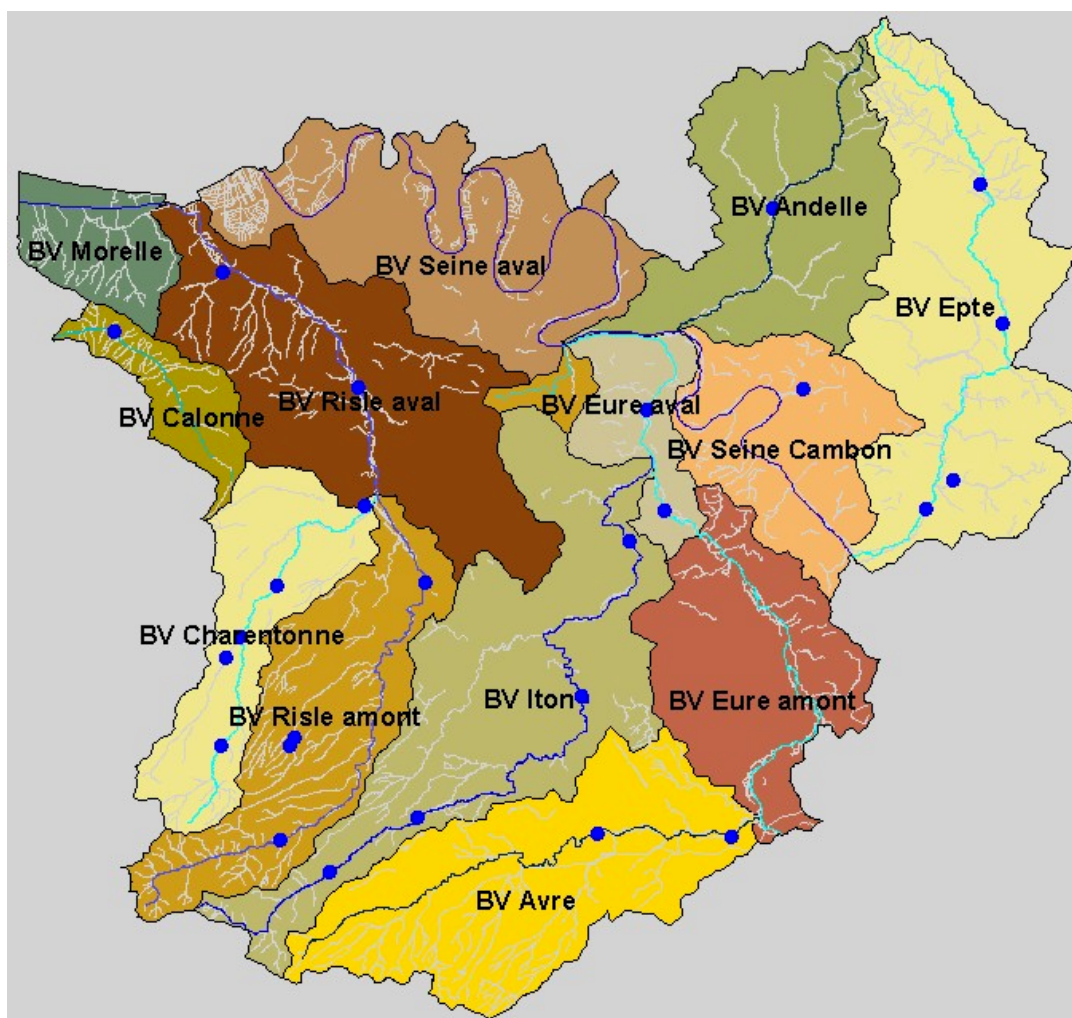


Fig. 14 - Carte des 14 bassins versants et les stations de jaugeages disponibles

L'examen sur un certain nombre de stations de jaugeages de la région ou en périphérie où le débit peut être estimé comme bon, donne déjà une bonne estimation des débits de sortie des différents bassins versants.

* Dénomination	x	y	z	Surface	Debit annuels moyens [m3/s]	Debit spécif. annuels moyens [l/s/km²]	Débit minimum d'étiage (quinq. sec)[m3/s]	Rapport du débit Moy/Min	Lame d'eau écoulé annuelle moyenne [mm]	lame d'eau écoulé sout. annuelle moyenne [mm]	Rapport écoulement.sout./ lame d'eau
La Blaise à Garnay	524800	2409000	96	413	1.9	4.6	1.1	1.7	145	84	0.58
La Calonne à Authieux sur Calo	450735	2479700	29	176	1.84	10.5	1.1	1.7	331	198	0.60
La Charentonne à Bocquencé	463823	2429430	195	65.2	0.57	8.7	0.116	4.9	276	56	0.20
La Charentonne à Ferrières-Sai	470617	2448774	119	257	2.15	8.4	0.985	2.2	264	121	0.46
La Charentonne à la Trinité-de	465010	2442700	145	230	1.9	8.3	1.3	1.5	261	178	0.68
La Charentonne à Serquigny	481120	2458590	10	509	3.7	7.3	2.2	1.7	229	136	0.59
La Corbie à Toutainville	463940	2486732	5	66.7	0.715	10.7	0.459	1.6	338	217	0.64
La Risle à Grosley-sur-Risle	488552	2449225	104	494	2.23	4.5	0.644	3.5	142	41	0.29
La Risle à Pont-Authou	480365	2472823	38	1690	12.1	7.2	6.01	2.0	226	112	0.50
La Risle à Rai	470872	2418121	205	147	1.4	9.5	0.488	2.9	301	105	0.35
L'Andelle à Vascoeuil	530830	2494621	53	371	3.9	10.5	2.42	1.6	332	206	0.62
L'Aubette de Magny à Amblevill	552740	2461652	35	96	0.451	4.7	0.311	1.5	148	102	0.69
L'Avre à Acon	509399	2418852	115	490	2.5	5.1	0.905	2.8	161	58	0.36
L'Avre à Muzy	525825	2418491	73	880	3.4	3.9	1.28	2.7	122	46	0.38
Le Gambron aux Andelys	534402	2472654	33	100	0.362	3.6	0.282	1.3	114	89	0.78
Le Guiei à Montreuil-l'Argillé	464262	2440120	164	79.2	0.669	8.4	0.385	1.7	267	153	0.58
Le Val de Launay à Glos-la-Fer	472092	2429552	229	3.2	0.024	7.5	0.001	24.0	237	10	0.04
Le Vernet à Glos-la-Ferrière	472766	2430357	221	19.3	0.104	5.4	0.001	104.0	170	2	0.01
L'Epte à Eragny-sur-Epte (1982-84)	558715	2480657	53	384	3.8	9.9	1.87	2.0	312	154	0.49
L'Epte à Fourges	549454	2458166	23	1370	9.35	6.8	4.4	2.1	215	101	0.47
L'Epte à Gournay-en-Bray	555867	2497415	87	248	1.84	7.4	0.214	8.6	234	27	0.12
L'Eure à Caillay-sur-Eure	517633	2457964	50	4530	19.3	4.3	3.49	5.5	134	24	0.18
L'Eure à Charpont	534090	2411740	81	2050	6.28	3.1	2.37	2.6	97	36	0.38
L'Eure à Louviers	515511	2470209	10	5990	26	4.3	14.2	1.8	137	75	0.55
L'iton à Bourth	487514	2420716	181	290	1.45	5.0	0.65	2.2	158	71	0.45
L'iton à Crulai	476838	2414090	203	108	0.86	8.0	0.204	4.2	251	60	0.24
L'iton à Manthelon	507540	2435449	119	414	1	2.4	0.159	6.3	76	12	0.16
L'iton à Normanville	513333	2454275	49	1050	3.8	3.6	2.17	1.8	114	65	0.57
La Seine à Rouen	499000	2400000	15	72000	542	7.5	190	2.9	238	83	0.35
La Seine à Poses	519944	2479954	10	65000	439	6.8	120	3.7	213	58	0.27

*données de la banque Hydro en 2003, périodes de mesures varient selon la station (min.17 ans)

Tabl. 3 - Valeurs caractéristiques des stations de jaugeage

Dans le tabl. 3, on constate déjà que le débit spécifique annuel moyen varie du simple au triple selon les différents bassins versants, et du simple au double pour 2 stations situées sur le même bassin versant.

Si l'on compare déjà ces valeurs avec la carte des pluies (qui n'est pas tout à fait la carte des pluies efficaces mais la reflète), on constate (fig. 15) en général une bonne concordance avec les variations concernées en terme de débit spécifique.

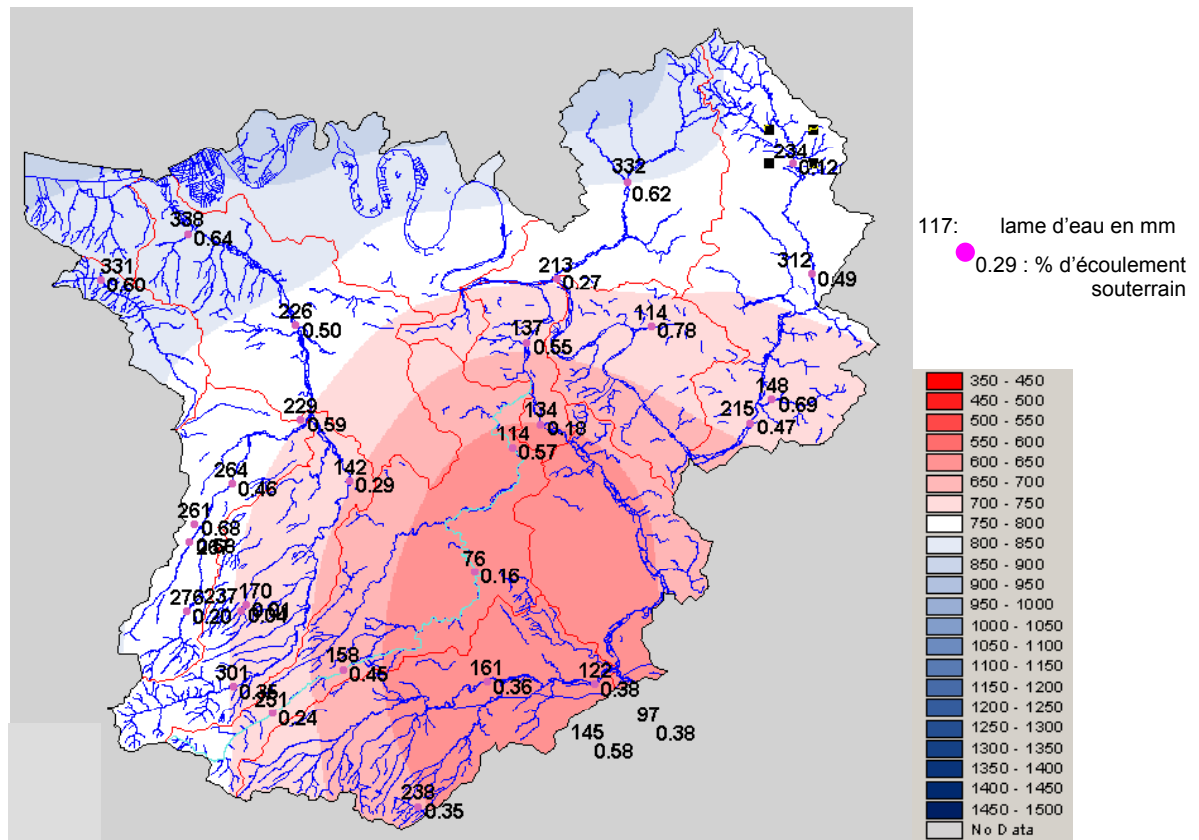


Fig. 15 - Evaluation sur chacune des stations de jaugeage de la lame d'eau calculée en mm (en haut à gauche) à partir des débits spécifiques (en haut à gauche) et la part d'écoulement souterrain en % (en bas à droite), sur fond de pluies moyennes (1972-2000)

Si on examine les variations inter annuelles de régime de débits, on s'aperçoit que le régime est très régulier, ce qui déjà traduit le rôle important des eaux souterraines dans l'alimentation des cours d'eaux.

Le ruissellement est en général peu abondant dans les bassins de la craie et reflète une infiltration majoritaire vers la nappe de la craie. Le débit de la rivière est en effet régularisé par cette nappe qui amortit les alternances de période sèches et humides et limite les fluctuations du régime inter annuel.

Le débit moyen mensuel rapporté au débit mensuel minimum caractérise en première approche la contribution de l'aquifère de la craie en régime inter annuel.

Les valeurs plus grandes caractérisent généralement des zones plus ruisselantes. Une exception notable est la zone de l'Iton à Manthelon où de fortes pertes engendrent des débits d'étiages très faibles. Il en est de même pour les vallées sèches dans le bassin versant du Risle.

Cette première approche considère que le débit drainé (apport des eaux souterraines) reste le même à l'étiage et en période de moyennes eaux, ce qui est loin d'être le cas. On pourra considérer que ce rapport est un taux minimum de contribution de l'aquifère crayeux au débit total du cours d'eau.

4.3.2. Données de prélèvements

Les données de prélèvements proviennent de deux sources différentes :

- les déclarations/ autorisations faites par les irrigants au titre de la police des eaux à la DAF 27, qui ne donnent que des valeurs de débit,
- les déclarations de prélèvements annuels faites à l'AESN sur les départements de l'Eure, Seine Maritime, Calvados, Orne, Eure-et-Loir et Val d'Oise.

Les déclarations faites par les irrigants au titre de la police des eaux sur les communes situées hors du département mais dans les 14 bassins versants ont été demandées sous format numérique aux DDAF concernées (76, 14, 61, 28, 95, 60) sans succès : ces données ne seraient a priori pas numérisées.

Les données sur les prélèvements ne sont numérisées que de manière récente : les données communiquées par l'AESN ne concernent que la période 1996-2001. Compte tenu de la progression lente du volume total prélevé (même si plus récemment l'évolution s'inverse) et de nombreux ouvrages existants de prélèvements non connus, on considéra par hypothèse et par défaut que les moyennes sur cette période peuvent être considérées comme représentatives des volumes réels effectivement prélevés sur les périodes considérées pour les bilans hydriques globaux par bassin versant (généralement 1972-1995). L'incertitude sur cette hypothèse est importante et dépasse les 10 % a priori.

Dans certains secteurs en limite avec l'Agence de l'Eau Artois Picardie (Epte), il a été utilisé les données de prélèvements des rapports d'Evaluation des Ressources Hydrauliques (ERH) du BRGM. Il s'agit alors de données anciennes (datant des années 1970-1975), mais qui permettent de connaître l'ordre de grandeur des volumes prélevés dans ces secteurs.

On dispose ainsi sur les 14 bassins versants concernés de :

- 617 déclarations de volumes à l'AESN,
- 186 valeurs de débits déclarations/autorisations par les irrigants agricoles au titre de la Police des Eaux, dont 20 captages clairement identifiés dans la base de l'AESN et 21 autres présents dans la base AESN (mais du fait de plusieurs captages agricoles sur la même commune, le lien entre débit déclaré et volume déclaré n'a pu être alors établi),
- 29 données issues des rapports des Evaluations des ressources Hydrauliques (ERH) du BRGM sur la Calonne (2), la Morelle (12), et l'Epte dans l'Oise (17).

Soit un total de 791 prélèvements différents (dont 540 sur le département de l'Eure) qui se répartissent selon les usages suivants :

- 344 ouvrages AEP (dont 213 sur le département de l'Eure),
- 208 ouvrages AEI (dont 113 sur le département de l'Eure),
- 229 ouvrages agricoles (dont 210 sur le département de l'Eure),
- 10 ouvrages domestiques ou indéterminés (dont 4 sur le département de l'Eure).

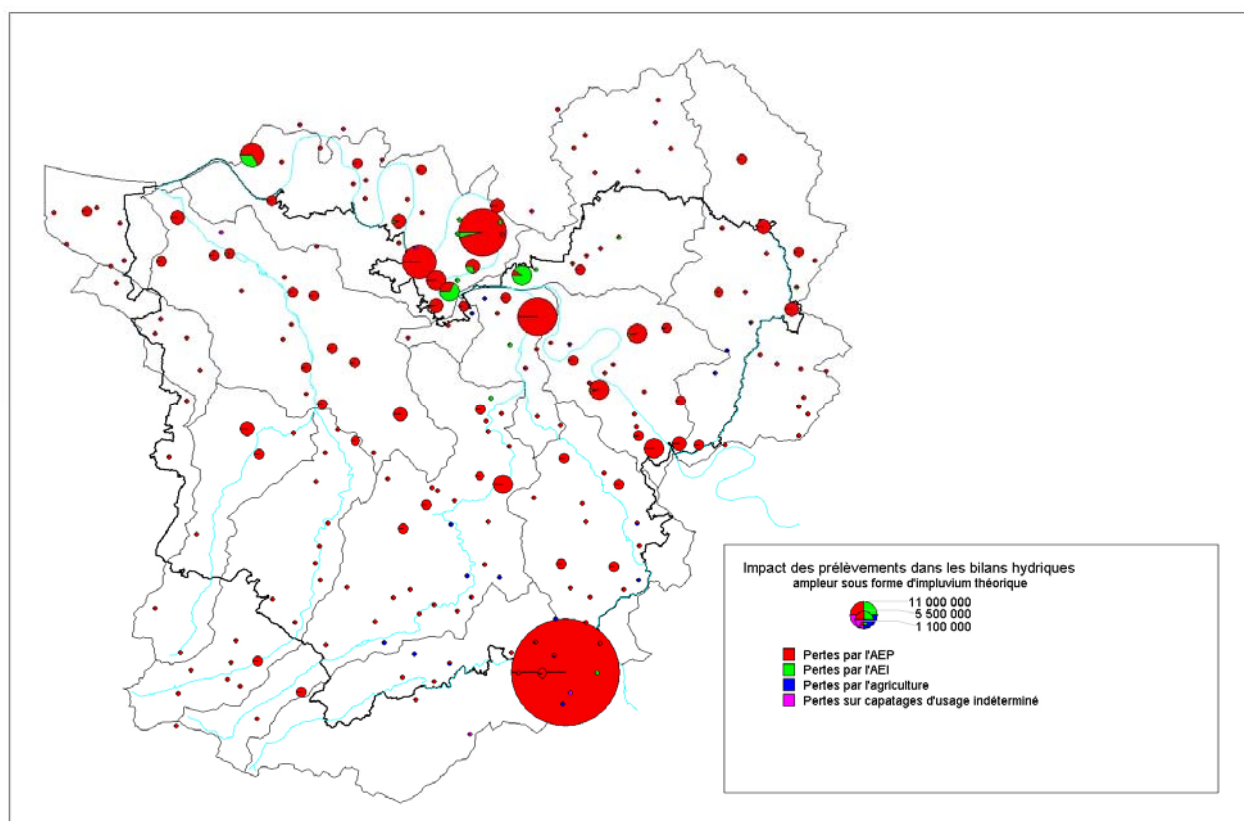


Fig. 16 - Position des ouvrages de prélèvements, ramenés au centroïde des communes (taille selon les volumes annuels prélevés selon échelle logarithmique)

Pour estimer à partir d'un débit déclaré par un irrigant un volume annuel agricole, il a été regardé sur les quelques 31 ouvrages d'irrigants déclarés à la fois auprès des services de police des eaux et de l'AESN la relation débit-prélèvement (fig. 17).

La relation affine obtenue reste moyennement corrélée ($R = 70\%$) :

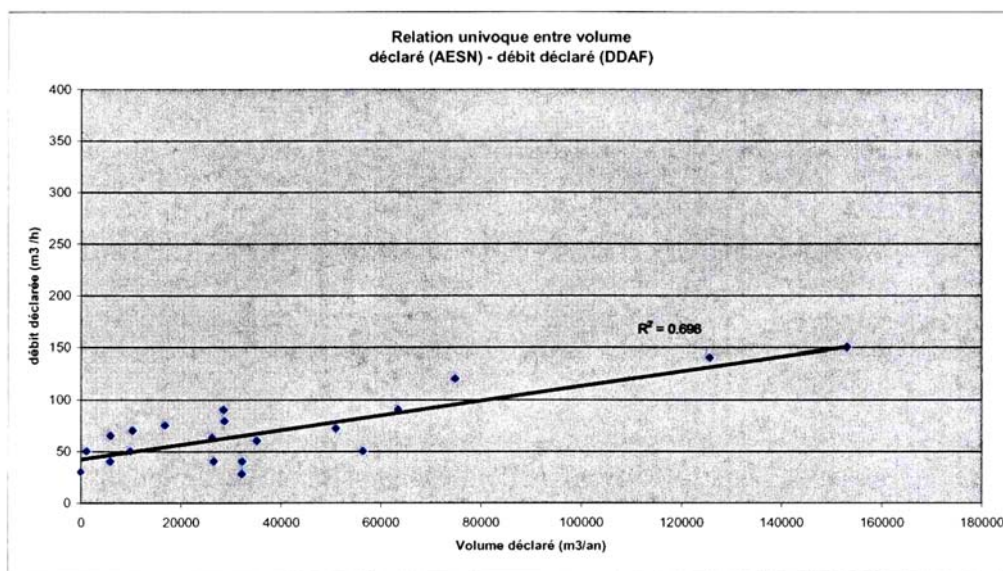


Fig. 17 - Corrélation débit déclaré (DDAF 27) - volume déclaré (AESN)

Compte tenu du caractère modérément satisfaisant de cette relation affine surtout pour les petits débits déclarés, on peut même se contenter pour une qualité à peine moindre de la relation linéaire suivante :

$$V \text{ (annuel en m}^3\text{)} = 560 * Q \text{ (débit en m}^3\text{/h déclaré)}$$

Avec une telle relation linéaire, si l'on considère que le débit réellement pompé est en moyenne les 2/3 du débit déclaré, les forages d'irrigations fonctionneraient en moyenne dans l'Eure 840 heures par an, ce qui sur une base de 10 heures de pompage par jour représente 84 jours (un peu moins de trois mois).

La période de déficit hydrique pour les plantes (RFU=0) définie lors des calculs de précipitations efficaces pour la Normandie dure en général de 2 à 4 mois selon les stations, ce qui se corrobore assez bien avec cette durée d'irrigation de 84 jours.

On peut donc, pour les 145 irrigants agricoles non inventoriés dans la base AESN, estimer grossièrement un volume de prélèvements.

Malgré la forte incertitude pour un tel calcul, les 7.5 millions de m³/an ainsi estimés restent modestes par rapport aux 200 millions de m³/an des prélèvements totaux déclarés à l'AESN et peuvent être pris en compte sans vraiment accentuer la marge d'incertitude déjà élevée.

Pour la prise en compte des prélèvements par bassin versant, il faut savoir que les données pour l'AESN sont référencées à la commune où se trouve le compteur (le

compteur pouvant correspondre à plusieurs captages AEP ou au contraire une partie d'un ouvrage AEP). Pour ces points, c'est le centroïde de la commune qui a été utilisé.

Les volumes prélevés atteignent sur les 14 bassins versants un total de 205 millions de m³ par an répartis en :

- 110 Mm³ pour l'AEP (53.3 %), dont 44.8 Mm³ sur le département de l'Eure (51 % pour le 27),
- 86 Mm³ pour l'AEI (42.4 %), dont 34.9 Mm³ sur le département de l'Eure (40 % pour le 27),
- 8.3 Mm³ pour l'usage agricole (4 %), dont 7.6 M³ sur le département de l'Eure (9 % pour le 27).

Le poids de la vallée de la Seine dans les bilans est important puisqu'elle explicite à elle seule la part importante de l'AEI hors département (35 à 86 Mm³) et pour bonne partie celle de l'AEP qui passe de 45 Mm³ à 110 Mm³/an. Les prélèvements sur l'Avre de 30 Mm³/an à Vert-en-Drouais coté Eure-et-Loir en limite de l'Eure sont l'autre principale raison de l'augmentation.

La part de l'irrigation agricole reste secondaire mais n'est pas négligeable, surtout pour le département de l'Eure où les prélèvements sont mieux connus ici qu'ailleurs et où l'usage est plus marqué dans le quart départemental SE.

Une bonne partie des prélèvements faits dans le milieu sont ensuite rejetés dans le milieu naturel sous forme ponctuelle (rejets après passage dans une station d'épuration) ou diffuse (infiltration, pertes des réseaux....). Seule une partie de l'eau s'évapore et sort du bilan hydrique.

Cette part a été estimée forfaitairement par type d'usage par l'AESN pour établir le calcul de la redevance et sera utilisée telle quelle dans les bilans.

Le pourcentage de prélèvement non rejeté est de :

- 35 % pour l'AEP,
- 7 % pour l'AEI,
- 70 % pour les irrigants agricoles.

Dans le cadre des calculs de bilans par bassins versants, si un rejet ne s'effectue pas dans le bassin versant où la ressource a été prélevée, c'est bien sûr l'ensemble du prélèvement qui sera considéré en sortie pour le calcul du bilan hydrique. Le prélèvement sur le bassin versant de l'Avre pour la ville de Paris de 30 millions de m³/an rentre par exemple dans cette dernière logique.

Pour les bilans hydriques quantitatifs par bassin versant (fig. 18), les volumes considérés seront donc bien moindres, à savoir 70 millions de m³ répartis en :

- 82.8 % pour l'AEP
- 8.7 % pour l'AEI
- 8.3 % pour les irrigants agricoles

L'AEP constitue l'usage principal (53 %) de la ressource aquifère crayeuse, qu'on raisonne en volumes captés, mais surtout en terme de volumes effectivement consommés (83 %). En terme d'impact quantitatif, l'AEP reste donc largement en tête. Le poids de l'AEP est plus particulièrement accentué dans les bilans du fait de

l'important export hors du bassin de l'Avre pour la ville de Paris (volume considéré à 100 % de perte, alors qu'un AEP restitue normalement 65 % du volume prélevé dans le même bassin versant sous forme de rejet).

Si on ne tenait pas compte de ce prélèvement extraordinaire, les volumes relatifs perdus par prélèvement ne seraient plus que de 72 % pour l'AEP, contre 15 % pour l'AEI et 15 % pour l'agriculture.

Les industriels sont aussi de grands préleveurs d'eaux (42 %) mais des consommateurs modérés (9%), rejetant la quasi-totalité des eaux captées (ce qui peut poser avec la qualité chimique des rejets, par contre d'autres problèmes sur la ressource d'un point de vue qualitatif).

L'agriculture ne prélève qu'un volume réduit de la ressource (4 %) mais qu'elle consomme fortement, ce qui en fait un consommateur à parts égales avec l'industrie sur les 14 BV. Si on se ramène sur le seul département de l'Eure, elle arrive même en seconde place, sachant que l'inventaire des captages agricoles est loin d'être complet (surtout hors de l'Eure). De plus, elle concerne surtout le SE de l'Eure, là où les précipitations efficaces sont les plus faibles.

Il est aussi distingué pour les prélèvements par bassin versant, le type d'usage, la position en amont/aval par rapport à la station de jaugeage servant pour le bilan (tabl. 4).

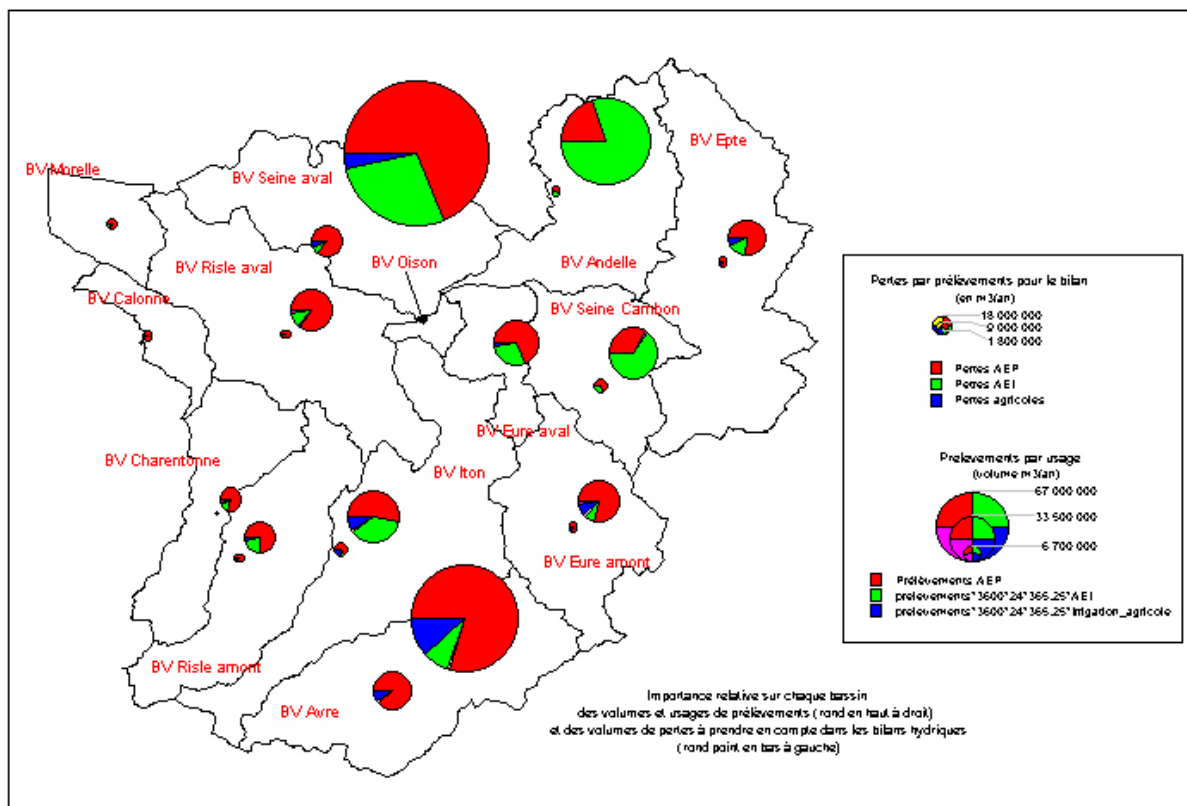


Fig. 18 - Volumes et usages de prélèvements par bassin versant

	Somme sur BV en milliers de m ³ /a	Somme sur BV m ³ /s	Somme sur BV jaugé en milliers de m ³ /a	Somme sur BV jaugé m ³ /s	% des prélèvements jaugé	Part AEP BV total	Part AEI supposé BV Total	Part agri. BV Total	part indéterminé BV Total	Part AEP BV jaugé	Part AEI supposé BV jaugé	Part agri. BV jaugé	part indéterminé BV jaugé
BASSIN VER													
BV Andelle	29 507,15	0,94	6 434,74	0,20	21,8%	19,8%	80,1%	8,6%	0,0%	83,7%	15,8%	0,0%	0,5%
BV Avre	39 444,70	1,25	36 616,29	1,16	92,8%	87,7%	8,6%	3,7%	0,0%	94,5%	1,6%	4,0%	0,0%
BV Calonne	1 143,11	0,04	658,29	0,02	57,6%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BV Charentonne	2 705,12	0,09	2 705,12	0,09	100,0%	79,3%	14,3%	1,6%	4,8%	79,3%	14,3%	1,6%	4,8%
BV Epte	7 888,41	0,25	6 173,19	0,20	78,3%	77,1%	15,5%	7,4%	0,0%	78,8%	19,8%	1,4%	0,0%
BV Eure amont	5 316,55	0,17	5 241,83	0,17	98,6%	81,0%	9,0%	7,6%	2,4%	82,2%	9,1%	6,3%	2,4%
BV Eure aval	8 752,25	0,28	212,67	0,01	2,4%	69,4%	28,0%	2,5%	0,1%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BV Iton	10 431,54	0,33	5 851,19	0,19	56,1%	55,9%	38,1%	6,0%	0,0%	81,0%	9,6%	9,3%	0,0%
BV Morelle	1 191,00	0,04	362,05	0,01	30,4%	100,0%	16,3%	0,0%	0,0%	79,1%	20,9%	0,0%	0,0%
BV Olson	306,80	0,01	306,80	0,01	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BV Risle amont	4 703,00	0,15	4 703,00	0,15	100,0%	76,4%	21,0%	2,6%	0,0%	76,4%	21,0%	2,6%	0,0%
BV Risle aval	7 829,72	0,25	6 332,93	0,20	80,9%	86,0%	11,8%	0,0%	2,2%	85,5%	14,5%	0,0%	0,0%
BV Seine aval	71 022,26	2,25	71 022,26	2,25	100,0%	34,5%	65,2%	0,1%	0,2%	34,5%	65,2%	0,1%	0,2%
BV Seine Cambon	10 488,03	0,33	10 488,03	0,33	100,0%	68,7%	28,2%	3,1%	0,0%	68,7%	28,2%	3,1%	0,0%
Total	200 729,63	6,37	157 106,39	4,98	78,3%	54,5%	43,3%	1,9%	0,3%	62,5%	35,3%	1,9%	0,3%

Prélèvements

	Somme sur BV en milliers de m ³ /a	Somme sur BV m ³ /s	Somme sur BV jaugé en milliers de m ³ /a	Somme sur BV jaugé m ³ /s	% des prélèvements jaugé	Part AEP BV total	Part AEI supposé BV Total	Part agri. BV Total	part indéterminé BV Total	Part AEP BV jaugé	Part AEI supposé BV jaugé	Part agri. BV jaugé	part indéterminé BV jaugé
BASSIN VER													
BV Andelle	29 507,15	0,94	6 434,74	0,20	21,8%	19,8%	80,1%	8,6%	0,0%	83,7%	15,8%	0,0%	0,5%
BV Avre	43 095,06	1,37	39 839,88	1,26	92,4%	80,3%	7,9%	11,9%	0,0%	86,8%	1,5%	12%	0,0%
BV Calonne	1 143,32	0,04	658,29	0,02	57,6%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BV Charentonne	2 723,12	0,09	2 723,12	0,09	100,0%	78,8%	14,2%	2,3%	4,7%	78,8%	14,2%	2,3%	4,7%
BV Epte	7 943,67	0,25	6 223,37	0,20	78,3%	76,5%	15,4%	8,0%	0,0%	78,2%	19,7%	2%	0,0%
BV Eure amont	5 491,99	0,17	5 417,27	0,17	98,6%	78,5%	8,7%	10,5%	2,3%	79,5%	8,8%	9%	2,3%
BV Eure aval	8 766,03	0,28	228,46	0,01	2,6%	69,3%	28,0%	2,6%	0,1%	93,9%	0,0%	6%	0,0%
BV Iton	10 873,37	0,34	6 270,84	0,20	57,7%	53,6%	36,5%	9,9%	0,0%	75,6%	9,0%	15%	0,0%
BV Morelle	1 194,16	0,04	364,77	0,01	30,5%	83,5%	16,3%	0,3%	0,0%	78,5%	20,7%	0,7%	0,0%
BV Olson	306,80	0,01	306,80	0,01	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BV Risle amont	4 769,79	0,15	4 769,79	0,15	100,0%	75,3%	20,7%	4,0%	0,0%	75,3%	20,7%	4,0%	0,0%
BV Risle aval	7 831,79	0,25	6 335,01	0,20	80,9%	86,0%	11,7%	0,0%	2,2%	85,4%	14,5%	0,0%	0,0%
BV Seine aval	71 022,26	2,25	71 022,26	2,25	100,0%	34,5%	65,2%	0,1%	0,2%	34,5%	65,2%	0,1%	0,2%
BV Seine Cambon	10 501,01	0,33	10 501,01	0,33	100,0%	68,6%	28,1%	3,2%	0,0%	68,6%	28,1%	3,2%	0,0%
Total	205 169,54	6,51	161 093,61	5,11	78,5%	53,3%	42,4%	4,0%	0,3%	61,0%	34,5%	4,3%	0,3%

Pertes bilans

	Somme sur BV en milliers de m ³ /a	Somme sur BV m ³ /s	Somme sur BV jaugé en milliers de m ³ /a	Somme sur BV jaugé m ³ /s	% des prélèvements jaugé	Part AEP BV total	Part AEI supposé BV Total	Part agri. BV Total	part indéterminé BV Total	Part AEP BV jaugé	Part AEI supposé BV jaugé	Part agri. BV jaugé	part indéterminé BV jaugé
BASSIN VER													
BV Andelle	3 706,26	0,12	1 966,63	0,06	53,1%	55,1%	44,7%	0,0%	0,3%	95,9%	3,6%	0%	0,5%
BV Avre	35 683,37	1,13	17 373,28	0,55	48,7%	89,3%	0,7%	10,0%	0,0%	80,9%	0,2%	19%	0,0%
BV Calonne	400,23	0,01	230,40	0,01	57,6%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0%	0,0%
BV Charentonne	860,20	0,03	860,20	0,03	100,0%	87,3%	3,1%	5,0%	4,5%	87,3%	3,1%	5%	4,5%
BV Epte	2 660,00	0,08	1 882,01	0,06	70,8%	80,0%	3,2%	16,7%	0,0%	90,5%	4,6%	5%	0,0%
BV Eure amont	1 984,45	0,06	1 932,14	0,06	97,4%	76,0%	1,7%	20,4%	1,9%	78,1%	1,7%	18%	2,0%
BV Eure aval	2 461,00	0,08	84,09	0,00	3,4%	86,4%	7,0%	6,5%	0,0%	88,5%	0,0%	11%	0,0%
BV Iton	3 069,52	0,10	2 375,68	0,08	77,4%	66,5%	9,1%	24,5%	0,0%	69,9%	1,7%	28%	0,0%
BV Morelle	364,64	0,01	107,45	0,00	29,5%	95,7%	3,7%	0,6%	0,0%	93,3%	4,9%	1,8%	0,0%
BV Olson	107,38	0,00	107,38	0,00	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0%	0,0%
BV Risle amont	1 458,73	0,05	1 458,73	0,05	100,0%	86,2%	4,7%	9,1%	0,0%	96,6%	3,3%	9,1%	0,0%
BV Risle aval	2 476,19	0,08	1 960,37	0,06	79,2%	95,2%	2,6%	2,6%	2,1%	96,6%	3,3%	0,1%	0,0%
BV Seine aval	11 895,95	0,38	11 895,95	0,38	100,0%	72,1%	27,3%	0,3%	0,3%	72,1%	27,3%	0,3%	0,3%
BV Seine Cambon	2 966,63	0,09	2 966,63	0,09	100,0%	85,0%	7,0%	8,0%	0,0%	85,0%	7,0%	8,0%	0,0%
Total	70 094,53	2,22	45 200,93	1,43	64,5%	82,8%	8,7%	8,3%	0,3%	80,4%	8,6%	10,8%	0,3%

Tabl. 4 - Données de prélèvement par usage et par bassin versant

On notera seulement que :

- la part de l'AEP reste importante sur tous les bassins versants ;
- la part de l'AEI est surtout sensible sur les bassins versants de la Seine et sur l'Andelle. Ailleurs, elle devient vite marginale ;
- la part d'irrigation agricole est importante au SE, dans les bassins de l'Avre, Iton et Eure, de tradition plus marquée aux grandes cultures céréalières, où elle arrive largement en deuxième place. On note aussi sur l'Epte un poids non négligeable de l'irrigation, en rapport avec le nombre de déclarations : on ne retrouve pas sur l'Andelle, ni le poids ni les déclarations en proportions équivalentes, alors que les pratiques culturales sont a priori assez proches.

4.4. DONNEES PIEZOMETRIQUES

Les données piézométriques nous renseignent sur l'évolution du stock en eaux souterraines au sein de l'aquifère crayeux et le régime hydrodynamique de l'aquifère crayeux.

L'examen des données piézométriques permet de délimiter des périodes où les variations de stock sur un bassin versant sont faibles voire nulles.

De plus, le calage sous GARDENIA des données piézométriques par rapport aux données climatiques (modélisation pluie-niveau) permet, par exemple, de vérifier que les paramètres obtenus sur le bassin versant restent cohérents avec ceux du bilan hydrique proprement dit (modélisation pluie-débit).

Les chroniques de points piézométriques (fig. 19) ayant appartenu aux différents réseaux piézométriques sont au nombre de 72. Actuellement, seuls 30 points sont actifs, dont 24 points ont des chroniques de plus de 5 ans.

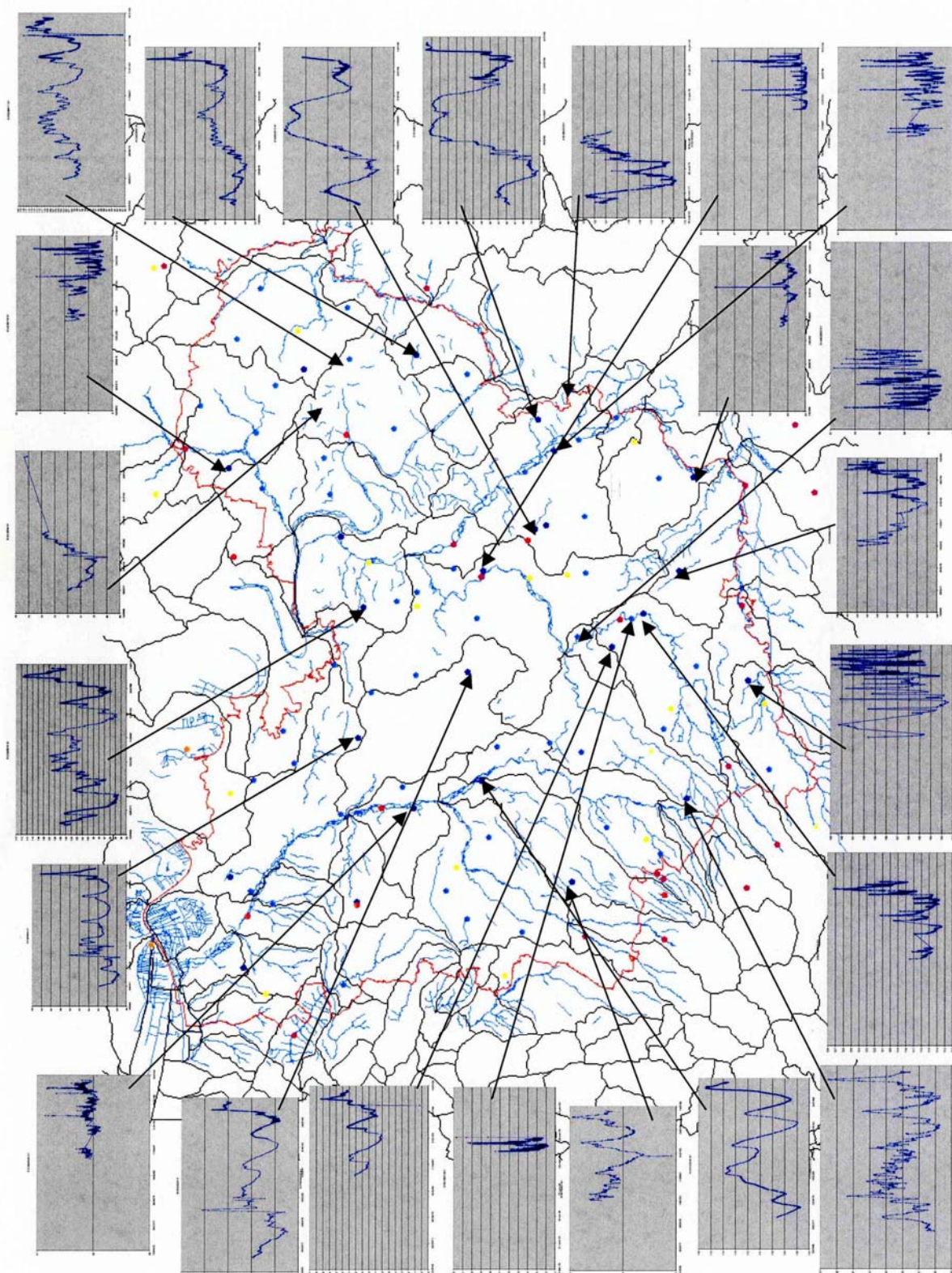


Fig. 19a - Localisation des piézomètres avec aperçu des chroniques correspondantes (l'écart entre deux traits horizontaux noirs fait toujours 1 m)

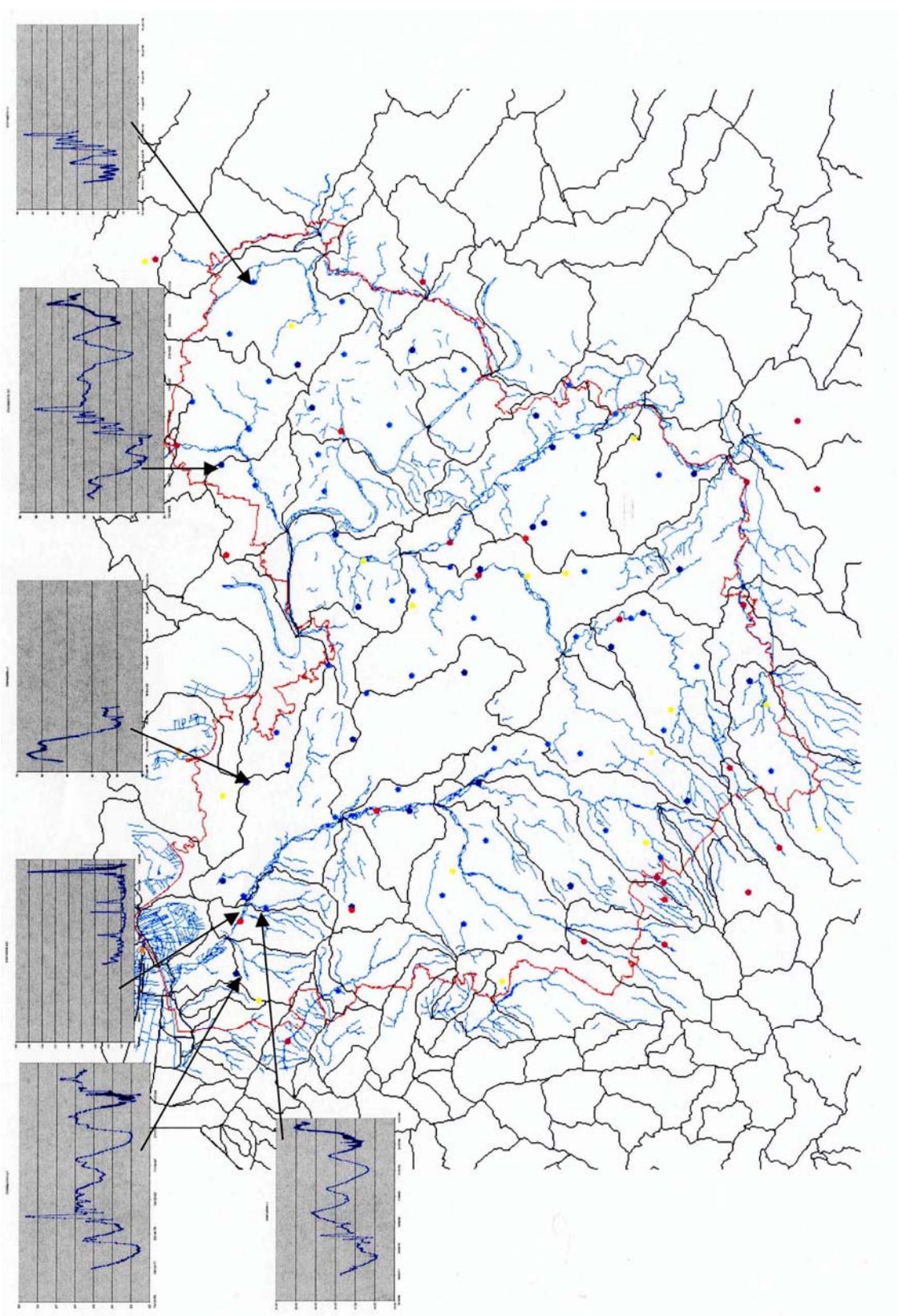


Fig. 19b - Localisation des piézomètres avec aperçu des chroniques correspondantes (l'écart entre deux traits horizontaux noirs fait toujours 1 m)

4.5. PARAMETRES HYDROGEOLOGIQUES

Les données caractéristiques du comportement hydrodynamique en milieu aquifère poreux (transmissivité T, coefficient de perméabilité K, coefficient d'emmagasinement S) ne sont pas rares pour l'aquifère de la craie. Mais elles ont été déterminées presque exclusivement sur les seuls ouvrages AEP, dans les secteurs aquifères généralement à forte productivité (pas représentatif de tout le milieu crayeux). De plus, les données sont dispersées dans de nombreux rapports, non centralisées et ne sont pas encore numérisées.

D'après Pierre MORFAUX (2002) sur la craie champenoise, les paramètres de la craie doivent être distingués par rapport à leur topographie :

Paramètres Situations	Débit spécifique en m ³ /h/m	Transmissivité en m/s	Coefficient d'emmagasinement en %	Productivité en m ³ /h/m
Plateau Niveau statique > à 20 m	0,5 à 5	10 ⁻⁶ à 10 ⁻⁵	1 à 2	5 à 50
Vallée sèche 20 > niveau statique < 5m	5 à 20	10 ⁻⁵ à 10 ⁻³	2 à 3	50 à 200
Vallée avec cours d'eau Niveau statique < 5 m	10 à 100	10 ⁻³ à 10 ⁻²	3 à 5	100 à > 300

L'Atlas hydrogéologique de l'Eure de 1989 montre un plus grande étalage des valeurs :

Paramètres Situations	Débit spécifique en m ³ /h/m	Transmissivité en m/s
Plateau Niveau statique > à 20 m	0.08 – 136.1 0.75 % : 0.08 – 6.8	5*10 ⁻⁵ à 2.2*10 ⁻²
Vallée sèche 20 > niveau statique < 5m	0.3 - 391 58 % : 10.5 - 22	3.5*10 ⁻³ à 4*10 ⁻²
Vallée avec cours d'eau niveau statique < 5 m	0.5-715	8*10 ⁻⁴ à 2.7*10 ⁻¹

Les valeurs numérisées de T et S dans la BSS sur le département de l'Eure dans les vallées humides varient de 1.5 à 5.5 %, dans les vallées sèches de 0.02 % et 1.5 %.

COMMUNES	N° IDENTIF	x (Lambert)	y (Lambert)	Z (m)	épaisseur	T (m ² /s*1E3)	S	k max (m/s*1E6)	morphologie
Perriers-sur-Andel	01008X0085	529626	2490437	56	18	0.8	/	45	Coteaux
Pont-Saint-Pierre	01007X0078	524145	2482136	45	48	1.5	/	31	Coteaux
Berrengeville-la-C	01494X0002	507565	2458304	144	44	0.1	/	1	Plateau
Breteuil	01797X0074	494517	2429895	177	30*	22.0	/	733	Plateau
Le Sacq	01794X0001	507021	2435027	148	30*	0.1	/	2	Plateau
Morsan	01227X0011	472820	2466502	167	30*	3.3	/	110	Plateau
Giverny	01511X0165	540654	2452909	13	32	3.3	/	100	Vallée
Acquigny-Becdal	01246X0219	514846	2465975	16	24	8.6	/	360	Vallée humide
Beaumont-le-Roger	01491X0045	486282	2454204	90	30*	15.0	/	500	Vallée humide
Brosville	01501X0020	511049	2457636	39	2	4.5	/	2400	Vallée humide
Gaillon	01248X0077	528169	2462841	15	26	67.0	0.055000	2600	Vallée humide
Gaillon	01248X0001	528379	2463091	13	18	40.0	0.005000	2200	Vallée humide
Martot	01234X0270	507672	2478042	12	30*	16.0	0.015000	533	Vallée humide
Martot	01234X0279	507083	2475118	42	35	7.5	/	210	Vallée humide
Nassandres	01491X0046	483005	2458935	71	30*	13.0	/	433	Vallée humide
Vaudreuil	01242X0454	516013	2472952	19	30*	250.0	0.005000	8333	Vallée humide
Vaudreuil	01242X0424	516934	2472993	10	21	140.0	/	6700	Vallée humide
Harquency	01251X0084	539244	2473005	50	36	33.0	0.016000	920	Vallée sèche
Incarville	01242X0453	515182	2472772	26	42	20.0	/	470	Vallée sèche
Incarville	01242X0422	514942	2472711	28	40	11.0	0.000200	280	Vallée sèche
Saint-Aubin-Epinay	01002X0058	518874	2491362	70	30*	1.1	/	37	Vallée sèche

*Où pas de valeurs d'épaisseurs existent, on applique une épaisseur moyenne de 30 m

Tabl. 5 - Valeurs de T et S déjà numérisées en BSS

5. Bilans hydriques par bassin versant

5.1. PRINCIPAUX RESULTATS

Les bilans hydriques globaux ont été calés sur la partie jaugée des bassins versants (tabl. 6). En l'absence de station de jaugeage (Seine aval, Seine Gambon) ou si le débit moyen n'est déduit qu'à partir de quelques valeurs ponctuelles (Morelle et Oison), l'équilibre du bilan reste plus théorique que réel.

Ces bilans sont ensuite extrapolés pour le même état d'équilibre des flux à l'ensemble du bassin versant afin d'apprécier un débit théorique à l'exutoire du bassin (tabl. 7).

5.1.1. Données et hypothèses

Les données utilisées sont les stations de mesures les plus proches (mesure la plus proche ou moyenne de 2 mesures).

L'équilibre des bilans a été effectué sur une période considérée comme moyenne pour le bassin versant (sans stockage ou déstockage de la nappe). Cette période a été définie spécifiquement sur chaque bassin versant, sur la base des piézomètres présents sur le secteur. Il a été choisi la période la plus longue possible où le niveau final est identique au niveau de départ pour un maximum de piézomètres.

C'est généralement entre deux périodes de basses eaux que les différents piézomètres se calent le mieux. Dans le cas de l'Eure, la période prise sur la durée la plus longue possible est généralement la même : 1972 ou 1973 à 1998 ou 1999 (quand on dispose sur le bassin versant d'une chronique piézométrique assez longue couvrant cette période).

Il a été défini pour chacun des termes du bilan une valeur moyenne, correspondant à l'ensemble des mesures disponibles sur la période considérée (y compris si les chroniques sont incomplètes et que les données existantes pourraient ne pas être bien représentatives de toute la période, comme les données de prélèvements par exemple).

Il existe parfois des flux d'échange entre différents bassins versants : ceux-ci seront explicités bassin versant par bassin versant. Les valeurs indiquées restent le plus souvent des moyennes très hypothétiques.

Le seul autre paramètre sur lequel une hypothèse a été faite est la RFU_{max}, pour laquelle différentes valeurs ont pu être testées pour un meilleur équilibre du bilan : la variabilité fluctue entre 60 à 100 mm selon les bassins versants (Gardenia a pu optimiser la valeur sur les 3 bassins considérés), pour une moyenne plutôt de 80 mm.

Bilan en lame d'eau équivalente en mm				Entrée		Sortie		Equilibre du bilan		Commentaires		RFU max
Nom du BV	Station de référence	Surface jaugée en km ²	P en mm	ETR en mm	Pe en mm	Apport au débit de la rivière en mm	Prélèvements en mm	BV à BV en mm	en mm	en % (Pe)		
Andelle	Radepont	687	806	555	251	284,2	2,9	-3,7	-32,3	-13%	sur part des prélèvements 3 % du flux annuel (part AEI forte ??)	80 mm
Avre	Muzy	870	628	495	133	115,9	18,8	-7,2	5,9	4%	BV très sollicité : 28 % du flux total annuel (part agricole non négligeable)	80 mm
Calonne	Les Authieux (14)	176	872	558	314	319,1	1,3	0,0	-6,5	-2%	-2% à peine plus d'1 %	80 mm
Charentonne	Serquigny	510	763	531	232	212,7	1,7	0,0	17,3	7%	2% du flux annuel prélevé	90 mm
Epte	Fourges	1370	764	544	220	217,1	3,3	0,0	-0,1	0%	à peine 2% (part AEI faible)	80 mm
Eure amont	Cailly sur Eure	820	672	525	147	184,6	2,4	-15,4	-24,6	-17%	6 % du flux annuel (part agricole non négligeable)	60 mm
Eure aval	Louviers	240	730	525	205	289,1	0,9	-52,6	-32,0	-16%	moins de 1 % du flux annuel	70 mm
Ilton	Normanville	1050	679	512	167	111,8	2,3	45,1	8,1	5%	4 % du flux annuel (part agricole non négligeable)	80 mm
Morelle	Fiquefleur	88,1	849	556	294	281,1	1,2	0	11,4	4%	2% du flux annuel prélevé	90 mm
Oison	St Pierre Les Elbeufs	31	752	545	207	67,1	10,2	0	129,7	63%	5 % du flux annuel prélevé	80 mm
Risle amont	Beaumontel	740	763	534	229	202,5	2,0	0	24,6	11%	3 % du flux annuel prélevé	90 mm
Risle aval	Pont Authou	420	755	566	189	195,2	2,1	0	-8,8	-5%	1% du flux annuel prélevé	90 mm
Seine Gambon	?	686	730	544	186	181,7	4,3	0	0		3 % du flux annuel prélevé	80 mm
Seine aval		931	825	555	270			0			BV très sollicité : 26 % du flux total annuel	90 mm

Bilan en m3/s				Entrée		Sortie		Equilibre du bilan		Commentaires	
Nom du BV	Station de référence	Surface jaugée en km ²	P en m3/s	ETR en m3/s	Pe en m3/s	Apport au débit de la rivière en m3/s	Prélèvements en m3/s	BV à BV en m3/s	en m3/s	en % (Pe)	
Andelle	Radepont	687	17,56	12,09	5,47	6,19	0,06	-0,08	-0,70	-13%	Manque de l'eau malgré Aubette (BV incomplet), S en km ² du différent ?
Avre	Muzy	870	17,33	13,65	3,68	3,20	0,52	-0,2	0,16	4%	Apport de l'Ilton
Calonne	Les Authieux (14)	176	4,87	3,11	1,75	1,78	0,01	0	-0,04	-2%	
Charentonne	Serquigny	510	12,34	8,59	3,75	3,44	0,03	0,00	0,28	7%	
Epte	Fourges	1370	33,20	23,63	9,57	9,43	0,14	0	0,00	0%	
Eure amont	Cailly sur Eure	820	17,46	13,64	3,82	4,8	0,06	-0,4	-0,64	-17%	Apport de l'Ilton et de la Vesgre (manque 1 m3/s sur les 19 m3/s)
Eure aval	Louviers	240	5,56	3,99	1,56	2,20	0,01	-0,4	-0,24	-16%	
Ilton	Normanville	1050	22,60	17,03	5,57	3,72	0,08	1,5	0,27	5%	fuites vers Avre, Eure, et sous-alluviales
Morelle	Fiquefleur	88,1	2,37	1,55	0,82	0,79	0,003	0	0,03	4%	Débites très mals connus : fuites sous alluvions
Oison	St Pierre Les Elbeufs	31	0,74	0,54	0,20	0,066	0,01	0	0,13	63%	Débites mals connus (l'essentiel des eaux se perdraient à la valeur d'une géologie complexe)
Risle amont	Beaumontel	740	17,90	12,52	5,38	4,75	0,05	0	0,58	11%	
Risle aval	Brionne	420	10,05	7,54	2,51	2,6	0,03	0	-0,12	-5%	
Seine Gambon		686	15,88	11,83	4,0		0,09	0	3,95		Accroissement du débit de la Seine de 10 m3/s estimée entre Vernon et Poses
Seine aval		931	24,36	16,37	8,0		0,38	0	7,61		Accroissement du débit de la Seine de 10 m3/s estimée entre Poses et Quilleboeuf (hors affluents) reste encore bien sommaire, débit de fuite
Seine	Rouen/Poissy	1713	39,65	29,55	520,10	540	2	-45	23,10	4%	alluviaux important possible

Tabl. 6 - Tableau récapitulatif des bilans hydriques quantitatifs globaux moyens de l'aquifère crayeux sur les différents bassins versants du département de l'Eure à hauteur des stations de jaugeage disponibles

Bilan en lame d'eau (en mm)					Entrée		Sortie		Equilibre du bilan		Commentaires	RFU Max
Nom du BV	Surface du BV en km²	P (mm)	ETR (mm)	Pe (mm)	Apport au débit de la rivière en m3/s	Prélèvements en mm	BV à BV en mm	en mm	en % (Pe)	sur part des prélèvements		
Andelle	737	805,937	554,866	251	308,1	5,0	-3,4	-58,6	-23%	15 % du flux annuel (part AEI forte)		70 mm
Avre	880	628,352	494,941	133	123,3	40,5	-7,2	-23,2	-17%	agricole non négligeable)	(part	80 mm
Calonne	176	871,726	557,87	314	330,8	2,3	0,0	-19,2	-6%	1 % du flux annuel prélevé		80 mm
Charentonne	520	762,889	531	232	224,4	1,7	0,0	5,7	2%	2% du flux annuel prélevé		70 mm
Epte	1620	764,203	543,884	220	190,8	1,6	0,0	27,9	13%	2% (part AEI faible)		60 mm
Eure amont	775	671,548	525	147	202,6	2,6	-32,6	-25,7	-18%	6 % du flux annuel (part agricole non négligeable)		61 mm
Eure aval	270	730	525	205	233,5	9,1	0,0	-37,1	-18%	16 % du flux annuel		70 mm
Ilton	1300	679	512	167	138,3	2,4	24,3	2,3	1%	5 % du flux annuel (part agricole non négligeable)		80 mm
Morelle	170	849	556	294	276,4	2,1	0	15,2	5%	1 % du flux annuel prélevé		80 mm
Olson	63	752	545	207	141,9	1,7	0	63,4	31%	2 % du flux annuel prélevé		80 mm
Risle amont	750	763	534	229	222,9	1,9	0	4,4	2%	3 % du flux annuel prélevé		80 mm
Risle aval	980	754,7	566	189	190,2	2,5	0	-4,1	-2%	4% du flux annuel prélevé		80 mm
Seine Gambon	686	730	544	186	168,7	17,3	0	0,0	0%	10 % du flux annuel prélevé		80 mm
Seine aval	931	825	555	270	267,2	3,2	0	0,0	0%	BV très sollicité : 26 % du flux tbal annuel		

Bilan en m3/s					Entrée		Sortie		Equilibre du bilan		Commentaires
Nom du BV	Surface du BV en km²	P en m3/s	ETR en m3/s	Pe en m3/s	Apport au débit de la rivière en m3/s	Prélèvements en m3/s	BV à BV en m3/s	Débit rivière (m3/s)	en m3/s	en % (Pe)	sur bilan
Andelle	737	18,83	12,97	5,87	7,2	0,12	-0,08	7,20	-1,37	-23%	Manque de l'eau malgré Aubette (BV incomplet), S en km² du différent ?
Avre	880	17,53	13,81	3,72	3,44	1,13	-0,2	3,44	-0,65	-17%	Apport de l'Ilton
Calonne	176	4,87	3,11	1,75	1,85	0,01	0	1,85	-0,11	-6%	
Charentonne	520	12,58	8,76	3,82	3,70	0,03	0,00	3,70	0,09	2%	
Epte	1620	39,26	27,94	11,32	9,8	0,084	0	9,80	1,43	13%	
Eure amont	775	16,50	12,89	3,61	4,98	0,06	-0,8	19,4	-0,63	-18%	Apport de l'Ilton et de la Vesgre (manque 1 m3/s sur les 19 m3/s)
Eure aval	270	6,25	4,49	1,76	2,00	0,08	0	26,98	-0,32	-18%	
Ilton	1300	27,98	21,09	6,89	5,70	0,10	1	5,70	0,09	1%	fuites vers Avre, Eure, et sousalluviale
Morelle	164	4,42	2,89	1,53	1,49	0,01	0	1,49	0,03	2%	Débites très mals connus : fuites sous alluvions Seine
Olson	63	1,50	1,09	0,41	0,28	0,003	0	0,28	0,13	31%	Débites mals connus (l'essentiel des eaux se perdraient à la valeur d'une géologie complexe)
Risle amont	750	18,14	12,69	5,45	5,3	0,05	0	5,30	0,10	2%	
Risle aval	980	23,45	17,59	5,86	5,91	0,08	0	14,79	-0,13	-2%	
Seine Gambon	550	12,73	9,49	3,24	3,24	0,38	0	530,10			
Seine aval	931	24,36	16,37	7,98	5,88	0,09	0	548,71			Apports des affluents majeurs et mineurs de la Seine

Tabl. 7 - Tableau récapitulatif des bilans hydriques quantitatifs sur la surface totale des bassins versants du département de l'Eure, extrapolés d'après les bilans globaux moyens de l'aquifère crayeux

Pour les bilans moyens globaux, il n'a pas été fait de distinguo entre la part ruisselante des précipitations efficaces donnant lieu au débit ruisselé (partie du débit total de la rivière) et la part infiltrante des précipitations efficaces donnant lieu au débit drainé.

Gardenia distingue un réservoir rapide (ruissellement + circulation karstique souterraine rapide) d'un réservoir plus lent (écoulement poreux), ce qui est plus précis qu'une estimation par examen visuel de l'hydrogramme.

Si on examine la part d'écoulement lent dans le débit total des cours d'eaux calculée par Gardenia sur les 3 bassins versants, on obtient par ordre décroissant, 85 % de débit pour l'Iton, 73 % pour l'Epte et 59 % pour la Risle. La part d'écoulement rapide intègre le débit ruisselé plus la part la plus réactive du débit drainé (peu dissociable). La part réelle du débit drainé dans le débit des cours d'eaux est donc encore plus importante que la part de l'écoulement lent.

Sur le bassin versant de la Calonne, la part de débit drainé est évaluée par la DIREN BNO à 79 % (Leroux, 1996).

La décomposition de l'hydrogramme sur les autres cours d'eaux a été évaluée visuellement sur les courbes de débits de la station de jaugeage la plus en aval. La part du débit drainé (eaux souterraines) dans le débit total des cours d'eaux varie de 60 % à 93 % :

BV	Station	% débit drainé	Méthode de détermination
Andelle	Vascoeuil	74%	évaluation visuelle
Avre	Muzy	63%	évaluation visuelle
Calonne	Les Authieux-sur-Calonne	79%	DIREN BNO
Epte	Fourges	74%	GARDENIA
Eure	Louviers	81%	évaluation visuelle
Iton	Normanville	86%	GARDENIA
Risle	Pont Authou	60%	GARDENIA
Oison	Saint-Pierre-Les-Elbeuf	63%	évaluation visuelle
Morelle	Fiquefleur Equainville	94%	évaluation visuelle

Tabl. 8 - Estimation de la part du débit drainé dans le débit total

5.1.2. Equilibre des bilans hydriques quantitatifs des différents bassins versants

Dans le tabl. 6, on observe que sur les 12 calculs possibles de bilans de bassins versants, près de 9 d'entre eux sont équilibrés à moins de 15 % (le moins bon de ces calages de bilan concerne l'Andelle avec 13 %, soit un déficit non négligeable de 0.86 m³/s).

Du fait d'un jeu de données très incomplet, un bilan fait sur un petit bassin versant (Oison) est très mal calé : 63 % d'excédent. Mais il ne traduit en fait qu'un léger flux d'excédent de 0.14 m³/s .

Sur les 2 derniers équilibres de bassins versants (Eure amont, Eure aval, Risle aval), le calage du bilan hydrique est déficitaire de 16 à 17 %, soit entre 0.34 m³/s et 0.81 m³/s.

Des hypothèses plausibles sur ces écarts seront données dans chaque descriptif de bassin versant.

Enfin, on notera que les bilans hydriques avaient déjà été effectués sur les bassins versants de l'Andelle et de l'Epte sur des stations de jaugeage plus en amont dans le cadre de la réalisation par la CGG de l'atlas hydrogéologique numérique de la Seine-Maritime (1998).

Sur l'Andelle, on retrouve à peu près les mêmes écarts dans l'équilibre du bilan avec un déficit significatif sur Vascoeuil dans le bilan (avec des données et hypothèses différentes). Ce déficit s'accroît même à l'aval à Radepont ou Pitres. Par contre, la station à l'amont de Rouvray Catillon, indiquait un fort excédent (1998).

Sur l'Epte, le bilan est bien équilibré sur la station aval de Fourges, alors que les calculs faits sur les stations plus amont de l'Epte en 1998 (avec d'autres hypothèses et données) indiquaient un excédent marqué ou très marqué. Il semblerait donc que le Pays de Bray (substrat non crayeux) favorise de forts débits spécifiques.

5.1.3. Ampleur et nature des prélèvements actuels

Pour bien apprécier l'impact des prélèvements, il convient déjà de distinguer les volumes prélevés et les pertes de volumes par prélèvement (pertes pour le bilan). Ces volumes prélevés ont été comparés aux volumes de pluies efficaces, sans chercher à distinguer les prélèvements en rivière ou en eaux souterraines alluviales ou crayeuses (information non connue en l'état).

Les volumes prélevés, 210 millions de m³ par an, sont significatifs (soit 11 % en moyenne du potentiel de la ressource), alors que les pertes par prélèvements pour les bilans quantitatifs, 70 millions de m³ par an restent relativement faibles (3.9 % en moyenne du potentiel de la ressource).

Dans le tabl. 7 et la figure correspondante (fig. 18), on constate que l'ampleur des prélèvements est assez contrastée d'un bassin versant à l'autre :

Les sollicitations en terme de volumes captés en eaux souterraines ou d'eaux de surface sont en majorité modérées (quelques %) mais elles peuvent parfois être fortes sur certains bassins versants : sur 5 bassins versants, la part atteint les 10 à 15 % du flux annuel souterrain (Andelle, Seine Gambon et Eure aval) et même sur Seine aval et l'Avre où elle dépasse les 25 %.

Des parts de prélèvements de 10 % et plus de la ressource efficace traduisent déjà une ressource bien exploitée, ce qui n'est pas sans poser des problèmes techniques pour arriver à mobiliser davantage cette ressource aquifère : les parties les plus productives sont déjà souvent sollicitées ou alors les zones nouvellement prospectées si elles fournissent du débit, peuvent présenter d'autres problèmes comme la turbidité, des teneurs élevées en nitrates et en phytosanitaires.

Si cela ne pose pas forcément un problème d'un point de vue bilan quantitatif (volumes rejetés souvent prépondérants), cela peut aussi engendrer par contre un impact

qualitatif non négligeable (altération physico-chimique des eaux rejetées dans le milieu naturel).

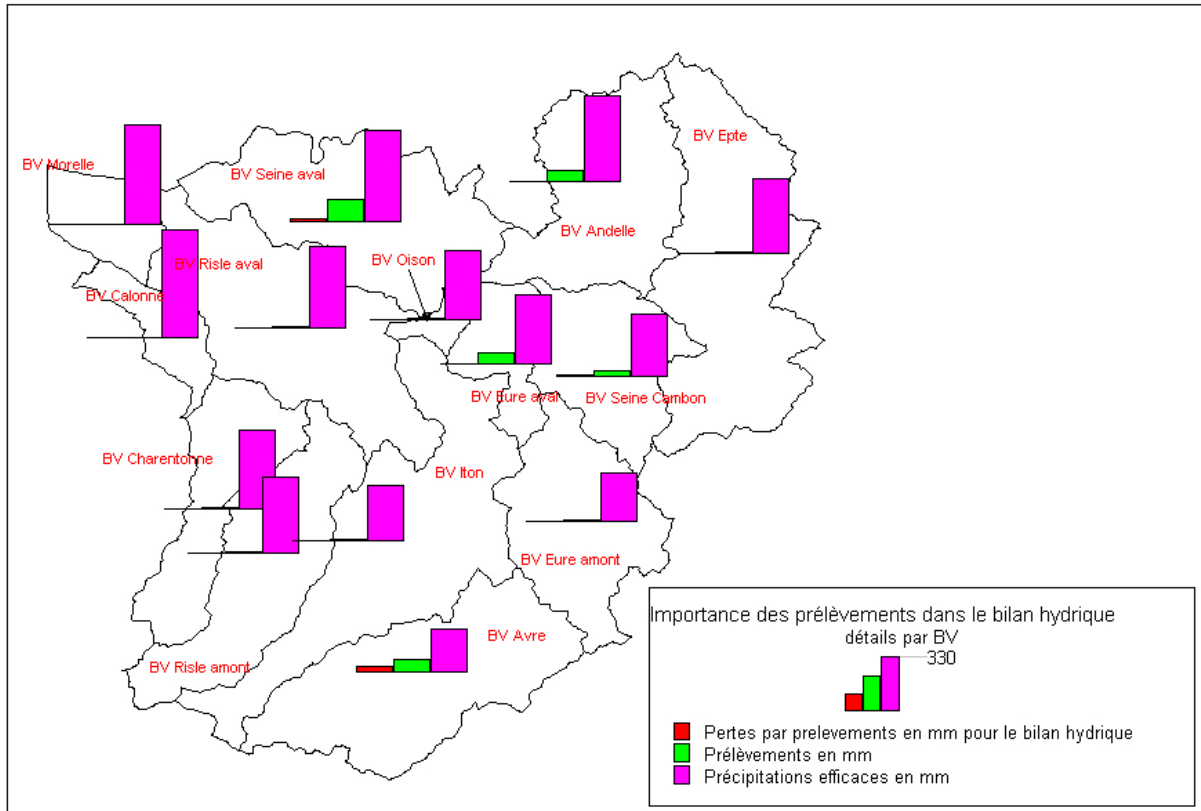


Fig. 20 - Impact des prélèvements par bassin versant sur la ressource d'un point de vue quantitatif (volume)

Si on ne tient compte que de l'aspect bilan hydrique (en terme de volume), les sollicitations restent partout modérées: les pertes, notamment sur les bassins à forte pression industrielle mais sans forte pression agricole, restent de quelques %, ceci malgré les forts volumes prélevés (Seine aval, Seine Gambon et Andelle).

Seul le bassin versant de l'Avre reste fortement sollicité avec 13 % du flux annuel du fait surtout du gros point de prélèvement AEP pour Paris et dans une moindre mesure de l'agriculture.

5.2. EXAMEN DES BILANS PAR BASSIN VERSANT

Il a été fait des bilans globaux sur 12 bassins versants et des bilans partiels sur les 2 bassins versants de la Seine (Seine aval, Seine Gambon).

Des bilans plus complets ont été faits à l'aide de Gardenia sur 3 bassins versants : l'Iton, l'Epte et la Risle aval. Sur ce dernier bassin versant, la station de jaugeage (Pont Authou) est dans l'amont du bassin versant et c'est en fait plus le bilan des bassins versants de la Charentonne et de la Risle amont qui est ainsi traité par Gardenia, que celui du bassin aval.

Ces bilans par Gardenia sont faits sur toute la période d'étude (1972-2001), alors que les bilans globaux l'ont été sur une période considérée comme moyenne (pas de stockage/ déstockage de l'aquifère crayeux a priori).

Enfin, il est à noter que des bilans hydriques ont été déjà réalisés par le passé sur certains des bassins versants comme la Risle-Charentonne (Burgeap, 1971), l'Eure-Iton (Burgeap, 1974), Seine Aval (Burgeap 1971?), l'Andelle (BRGM, 1975) et l'Epte (BRGM, 1965).

5.2.1. Bassin versant de l'Andelle

Le bassin versant de l'Andelle se caractérise déjà par la présence en amont de terrains géologiques antérieurs à la craie dans la boutonnière du Pays de Bray (Jurassique et Crétacé inférieur).

Ces terrains s'avèrent peu à pas aquifères, peu à pas infiltrants. Le territoire du Pays de Bray est par ailleurs une zone traditionnelle de bocage à prairie permanente, ce qui limite l'importance du ruissellement (timide évolution du paysage vers un accroissement du ruissellement ?). Les eaux restent en position superficielle, ce qui pourrait favoriser une part plus importante d'évapotranspiration en période estivale des eaux piégées dans les horizons de sols épidermiques.

L'aval crayeux du bassin versant est plus classique. Il est juste à signaler des petites buttes résiduelles tertiaires et une occupation humaine assez dense dans une vallée encaissée avant sa confluence.

La vallée est concernée par des inondations récurrentes en aval, sur un cours d'eau en connexion a priori permanente sur tout son cours crayeux avec la nappe de la craie (inondations de surface et /ou remontées de nappe phréatique).

Les données utilisées pour le bilan sont :

- les stations de Rouen-Boos et de Forges-les-Eaux pour la pluie,
- la station de Rouen-Boos pour l'ETP,
- la station de jaugeage de Radepont pour le débit en rivière,
- les piézomètres en plateau de Vandrimare, Le Héron (76), et en vallée de Doudeville-sur-Andelle (abandonné) et Nollevall (76 récent).

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1972-1997 (bornes incluses).

Le bassin versant de surface atteint 737 km² et est très proche du bassin versant souterrain (très légèrement supérieur de quelques km²). Il a été montré par G. Rico (1990) que le bassin versant souterrain de l'Aubette alimente pour une faible partie le bassin de l'Andelle : cette affluence reste d'un flux limité, estimé à 80 l/s.

Les données de prélèvements sur le bassin versant sont estimées à 6.5 millions de m³/an avant Radepont et 30 millions de m³/an avant la confluence à Pitres. Le poids important des prélèvements correspond surtout à un usage industriel dans l'aval de la vallée (fort prélèvement AEI sur la zone d'Alizay notamment). C'est l'usage AEP qui reste prépondérant jusqu'à Radepont puis l'AEI entre Radepont et Pitres (confluence dans la Seine). Aucun captage agricole n'a été relevé mais la collecte reste incomplètement renseignée (pas de données numériques irrigant 76 au titre de la police des eaux).

Le bilan calculé indique un déficit des flux à l'entrée par rapport aux flux de sortie observés. Ce déficit de 13% reste dans les limites d'incertitudes des données mais on le retrouve sur les trois stations de Vascoeuil, Radepont et Pitres (avec déficit croissant en allant vers l'aval), ce qui lui confère une relative représentativité.

Ce déficit avait déjà été constaté sur Vascoeuil par Hanot (1998). En amont de Vascoeuil, sur la station de Rouvray-Le-Catillon, le bilan était bien équilibré (à peine excédentaire), ce qui élimine une influence directe du Pays de Bray.

Après la Morelle (secteur le plus arrosé), c'est sur les stations de l'Andelle que les débits spécifiques moyens du cours d'eau sont les plus forts (10 l/s/km²). Avec une pluviométrie totale et efficace plutôt moyenne pour le département, il n'y a pas d'explication clairement identifiée à cela.

Dans les hypothèses qui peuvent être formulées, on peut mentionner notamment :

- la surface du bassin versant réel pourrait être plus importante : les points d'eau sur les interfluvies piézométriques sont généralement peu nombreux et les limites sont définies avec une plus grande incertitude ;
- d'autres paramètres peuvent intervenir comme la lithologie (la lithostratigraphie de la craie est mal connue). Dans le secteur du Vexin, la craie est plus déformée et épaisse jusqu'à 300 m (la hauteur utile n'est pas plus connue qu'ailleurs) ;
- des affluences particulières liées au fonctionnement de réseaux karstiques ou fissuraux sont possibles, par exemple depuis l'Epte (Vexin), et les parties amont des bassins versants du Cailly et de la Varenne en Seine-Maritime. Les fluctuations importantes observées sur le piézomètre de Rocquemont sont en faveur de la présence de tels réseaux.

5.2.2. Bassin versant de l'Avre

Le bassin versant de l'Avre est entièrement implanté dans les formations crayeuses. L'amont du bassin est situé dans l'Orne mais l'essentiel du cours d'eau délimite les départements de l'Eure et de l'Eure et Loir.

La partie amont du cours d'eau (amont de Verneuil-sur-Avre) connaît des variations importantes du débit et peut même s'assécher en période de sécheresse prolongée. Le fond de vallée dans l'amont est parcouru par de nombreuses bêtouilles (pertes karstiques) dans lesquelles disparaissent une partie des eaux du débit du cours d'eau pour ressortir plusieurs kilomètres plus en aval sous forme de résurgences. Ces éléments indiquent que le cours d'eau se retrouve, dans son amont, peu ou pas connecté à la nappe de la craie (rivière en position perchée).

Une dérivation d'une partie du cours de l'Iton vient renforcer le débit de l'Avre à hauteur de Verneuil-sur-Avre.

Les données utilisées pour le bilan sont :

- la station de Verneuil-sur-Avre pour la pluie,
- la station d'Evreux Huest pour l'ETP,
- la station de jaugeage de Muzy pour le débit en rivière, avant la confluence dans l'Eure,
- les piézomètres en plateau de Balines et Moisville, ainsi que sur le département voisin de l'Eure-et-Loir, celles d'Allainville, Crucey-Village et Ressuintes.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1986-1999 (bornes incluses) : on ne dispose pas de données piézométriques avant 1982.

Le bassin versant de surface atteint 870 km². Il est très proche du bassin versant souterrain (très légèrement supérieur de quelques km²).

Les données de prélèvements sur le bassin versant sont estimées à 43 millions m³/an, dont 39 millions/an avant Muzy. C'est l'usage AEP qui vient largement en tête (dont les importants prélèvements pour la ville de Paris), suivi par l'irrigation agricole. L'usage industriel est modéré et limité à la zone de Dreux.

Les pertes par prélèvements agricoles atteignent 10 % des pertes (30 % pour le bassin versant, si on ne tient pas compte du prélèvement exceptionnel AEP pour la ville de Paris).

C'est le bassin versant où les pertes par prélèvement sont les plus importantes par rapport à la ressource : cela est dû presque exclusivement à la dérivation AEP pour Paris. Sinon les pertes semblent comparables ailleurs aux autres bassins versants, à savoir environ 2 %.

Le bilan calculé indique un excédent de 4 % des flux à l'entrée par rapport aux flux de sortie observés. Cet excédent reste dans les limites d'incertitude des données.

Pour tenter d'expliciter cet excédent, on peut dire que :

- la dérivation de l'Iton vers l'Avre reste très mal connue en débit : il a été évalué à $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ à partir de quelques données instantanées (DIREN, BRGM). Il pourrait être plus faible ($0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ou plus) ;
- un petit bief est situé en parallèle de la station de Muzy : un petit débit de fuite échappe au bilan ;
- les volumes agricoles sont sans doute supérieurs (d'un tiers ?) du fait des irrigants agricoles coté de l'Eure et Loir (ayant fait une déclaration/autorisation au titre de la police des eaux), et qui n'ont pas forcément tous déclarés à l'AESN les volumes prélevés.

Le bassin de l'Avre est le bassin versant où les précipitations efficaces sont les plus basses, atteignant 133 mm pour un RFU de 80 mm, contre 146 mm (RFU de 60 mm) sur le bassin de L'Eure amont voisin et 157 mm (RFU de 70 mm) sur l'Iton.

5.2.3. Bassin versant de la Calonne

La moitié amont du bassin versant est située dans l'Eure. Il se poursuit à l'aval sur le département du Calvados.

Le bassin versant de la Calonne est implanté dans les formations crayeuses à l'amont, puis dans les terrains du Crétacé inférieur et Jurassique à l'aval.

Ce contact entre les terrains de la craie et les terrains géologiques plus anciens se fait par faille le long de la faille E-W de Cormeilles à Pont Authou.

Ces terrains non crayeux en aval sont constitués de haut en bas par :

- les argiles du Gault (d'âge albien),
- les argiles et calcaires marneux du Kimméridgien,
- les argiles de Villerville et/ou les sables du Glos de l'Oxfordien supérieur,
- les calcaires corraligènes et argiles de l'Oxfordien.

Les données utilisées pour le bilan sont :

- la station de Beuzeville pour la pluie,
- la station de Saint-Gatien-des-Bois pour l'ETP,
- la station de jaugeage des Authieux-sur-Calonne,
- l'ancien piézomètre de Beuzeville.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1973-1979 (bornes incluses) : la période est un peu courte mais le piézomètre de Beuzeville n'a en effet fonctionné que juste 1981. On notera que le premier bilan fait sur la période complète 1972-2001 ne donne pas de résultats très différents.

Le bassin versant de surface atteint 176 km^2 et il est très proche du bassin versant souterrain (un peu plus petit de quelques km^2). Bien arrosé, le débit spécifique moyen est fort, avec près de $10 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à 1 million m³/an, dont 0.6 million m³/an avant la station des Authieux. A un captage agricole près, seuls des prélèvements AEP ont été inventoriés. Les pertes par prélèvement sont faibles et atteignent 0.3 % du flux annuel efficace.

Avec un jeu de données peu étoffé sur le bassin versant, on aboutit à un bilan hydrique quantitatif bien équilibré (déficit non significatif de 2 %).

Sur ce bassin versant, étudié par P. Leroux en 1996 en stage à la DIREN de Basse Normandie, il a été réalisé une étude hydrogéologique dont les principaux résultats sont les suivants :

- les précipitations efficaces sur la période 1973-1995 ont été déterminées à 311 mm (contre 323 mm sur 1973-1979),
- le débit drainé serait de 79 % contre 21 % de débit ruisselé,
- le temps de demi-tarissement est estimé entre 385 j et 770 j,
- les réserves vidangeables sont estimées à minima à 423 l/km² et pourraient même atteindre 770 l/km². Ces fortes valeurs sont en relation directe avec la forte valeur moyenne des précipitations efficaces.

5.2.4. Bassin versant de la Charentonne

L'extrême amont du bassin versant est situé dans le département de l'Orne. La Charentonne conflue dans la Risle à hauteur de Nassandres.

Le bassin versant de la Charentonne est entièrement implanté dans les formations crayeuses.

Le Guiel et la Charentonne dans sa partie amont (avant confluence du Guiel) sont des rivières perchées, déconnectées de l'aquifère de la craie, qui peuvent connaître des étiages sévères (comme les amonts de l'Avre et de l'Iton).

Les éléments karstiques (bétoires, traçages) ont été particulièrement mis en évidence sur ce bassin versant, à la faveur des opérations de levés des dernières cartes géologiques, des opérations d'assainissement agricole en Pays d'Ouche, et des premières venues de turbidité sur les captages de Bernay.

Le bassin versant de surface atteint 510 km² et il est très proche du bassin versant souterrain (un peu plus grand de quelques km²).

Les données utilisées pour le bilan sont :

- la station de Saint-Germain-La-Campagne pour la pluie,
- la station de Couvains pour l'ETP,
- la station de jaugeage de Serquigny,
- le piézomètre en plateau de La Roussière.

On notera aussi sur 2 piézomètres anciens (Plainville et Saint-Aubin-de-Thenney), situés sur le plateau à l'est de la vallée de la Charentonne, la présence d'un niveau de base très marqué, qui efface toute fluctuation pluriannuelle et même pour partie les fluctuations annuelles.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1983-1999 (bornes incluses).

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à 2.7 million m³/an. L'essentiel des prélèvements est pour l'usage AEP. On notera ensuite des usages AEI autour et en aval de Bernay. Quelques captages agricoles sont aussi recensés.

Le poids des prélèvements reste d'un point de vue quantitatif faible : les pertes par prélèvements atteignent près d'0.7 % du flux annuel efficace.

Le bilan est bien équilibré : l'excédent constaté de 7 % reste en deçà des marges d'erreur.

5.2.5. Bassin versant de l'Epte

a) Bilan moyen global

Le bassin de l'Epte s'étend sur sa rive droite en Normandie, Seine-Maritime à l'amont puis Eure à l'aval, sur sa rive gauche à l'amont en région Picardie (Oise) et à l'aval en Ile-de-France (Val d'Oise).

Toutes les données n'ont pas pu être récupérées sur ces 3 régions et 4 départements, notamment sur les données de prélèvements.

Sur tous les départements sauf l'Oise, les données de prélèvements ont été fournies par l'AESN.

Sur les quelques communes de l'Oise, il a été utilisé les données de l'étude des ressources hydrauliques de la carte géologique n°125 de Gisors (rapport BRGM n° 73SGN014PNO) pour connaître l'ordre de grandeur des volumes prélevés (il s'agit de données un peu anciennes).

Voisin de l'Andelle, le bassin se caractérise par la présence en amont de terrains géologiques antérieurs à la craie dans la boutonnière du Pays de Bray (Jurassique et Crétacé inférieur).

Ces terrains s'avèrent peu à peu aquifères et peu à peu infiltrants. Le territoire du Pays de Bray est par ailleurs une zone traditionnelle de bocage à prairie permanente, ce qui limite l'importance du ruissellement (évolution du paysage vers un accroissement du ruissellement ?).

Les eaux restent souvent en position superficielle (multitude de petits puits peu profonds), ce qui pourrait favoriser une part plus importante d'évapotranspiration en période estivale des eaux piégées dans les horizons de sols épidermiques.

L'aval crayeux du bassin versant est plus classique. Il est juste à signaler la présence de buttes résiduelles tertiaires, parfois de taille importante (côté Ile-de-France surtout).

Les données utilisées pour le bilan sont :

- les stations d'Etrepagny et Gournay-en-Bray pour la pluie,
- la station d'Evreux Huest et Rouen Boos pour l'ETP,
- la station de jaugeage de Fourges,
- les piézomètres en plateau de Farceaux, Civières, Bezancourt.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1973-1998 (bornes incluses).

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à 8 millions m³/an, dont 6 millions m³/an avant Fourges. L'essentiel des prélèvements est pour l'usage AEP. On notera en seconde place l'usage AEI (petites et moyennes industries dans toute la vallée de l'Epte et de ses affluents). Quelques captages agricoles sont aussi recensés.

Le poids des prélèvements reste d'un point de vue quantitatif faible : les pertes par prélèvements atteignent près d'0.6 % du flux annuel efficace.

Le bilan est particulièrement bien calé : on arrive à un bilan équilibré à moins de 1 % de décalage, bien en deçà des marges d'erreurs et d'incertitudes.

b) Bilan par Gardenia

Données et hypothèses

Le bassin versant topographique a une superficie équivalente au bassin versant hydrogéologique, soit 1370 km².

Un débit souterrain sort à l'aval du bassin versant (écoulement sous alluviaux). En première approximation, on peut estimer que le débit total moyen de fuite est de l'ordre de 300 l/s. On considéra ce débit comme constant faute d'information sur ses fluctuations temporelles.

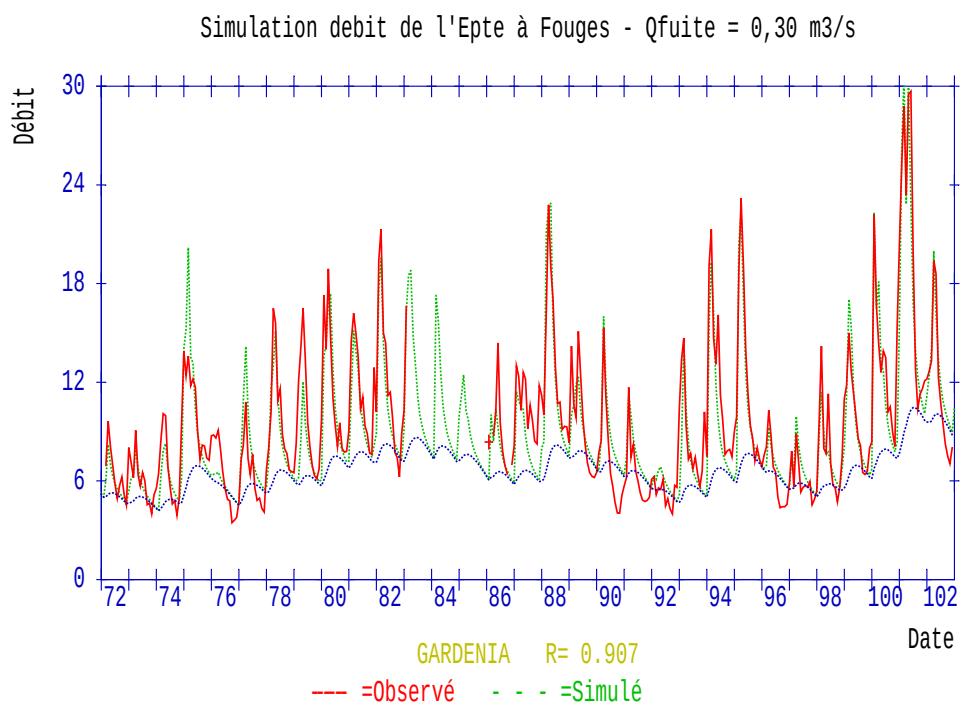
La pluie enregistrée au poste Gournay est représentative de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant à un coefficient multiplicateur près (-3,4 à -15 %)

L'ETP Penman calculée avec les paramètres climatologiques du poste d'Evreux-Huest est représentative de la lame d'eau évaporée sur le bassin versant à un coefficient multiplicateur près (+5 à +21,2 %).

Résultats des simulations GARDENIA

Les figures suivantes donnent sur les périodes de calage les graphiques des simulations retenues.

Chaque figure présente les valeurs mesurées (trait plein en rouge), les valeurs simulées (pointillé vert) et la décomposition en écoulement rapide, à savoir ruissellement et écoulement souterrain karstique et écoulement lent souterrain (pointillé bleu).



**Fig. 21 - Simulation pluie – débit de l'Epte à Fougues
 (Débit sortant du bassin: 0.3 m³/an)**

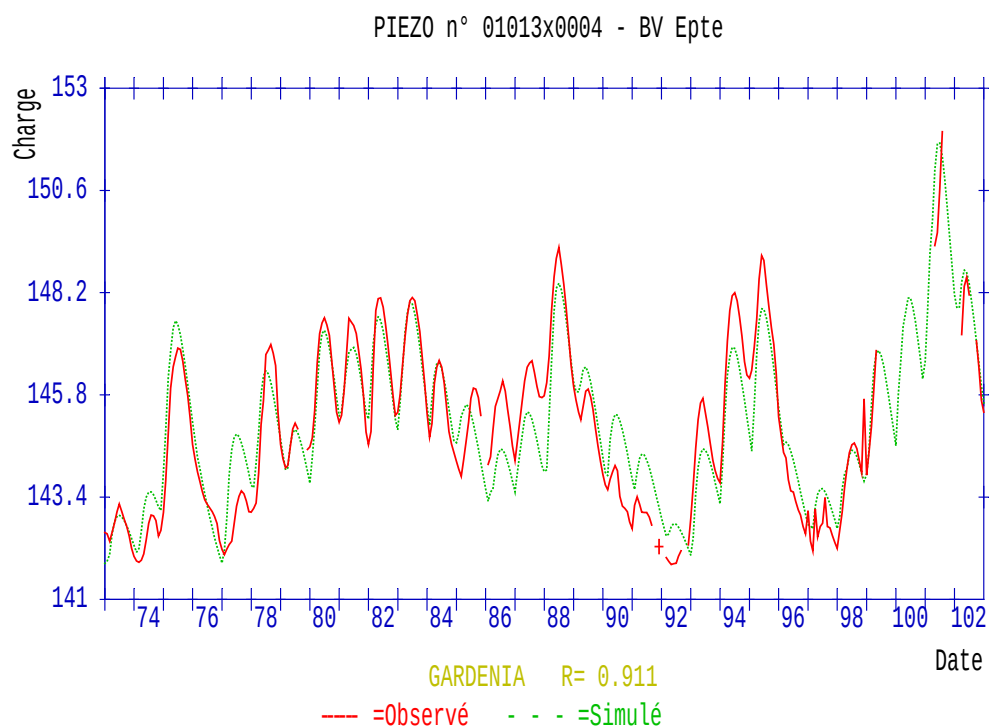


Fig. 22 - Simulation pluie – niveau du piézomètre de Bezancourt

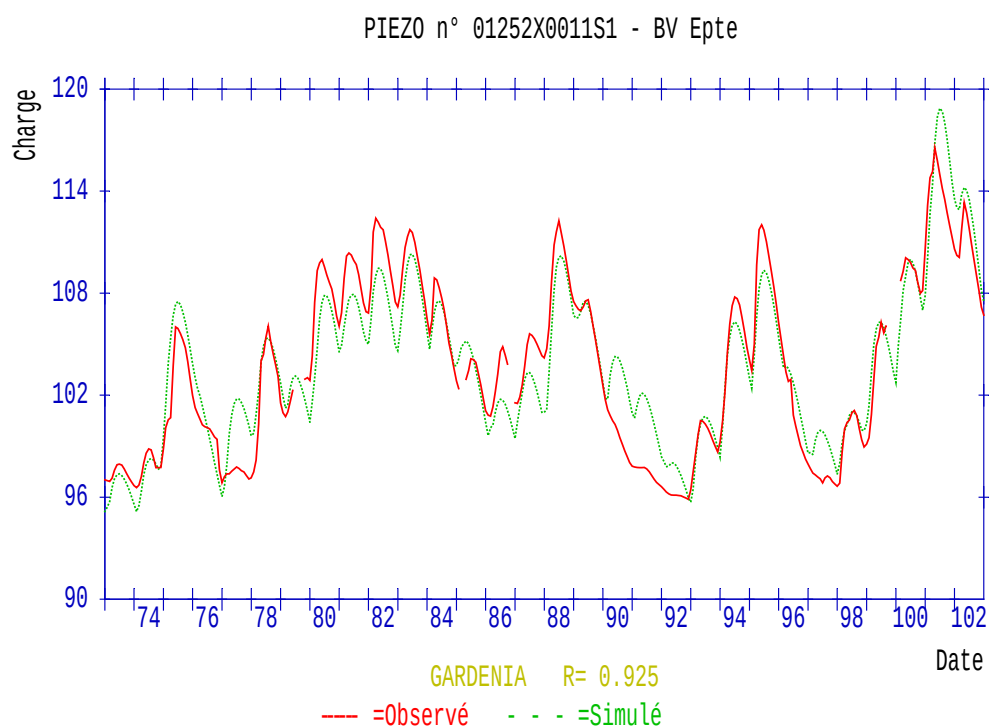


Fig. 23 - Simulation pluie – niveau du piézomètre de Farceaux

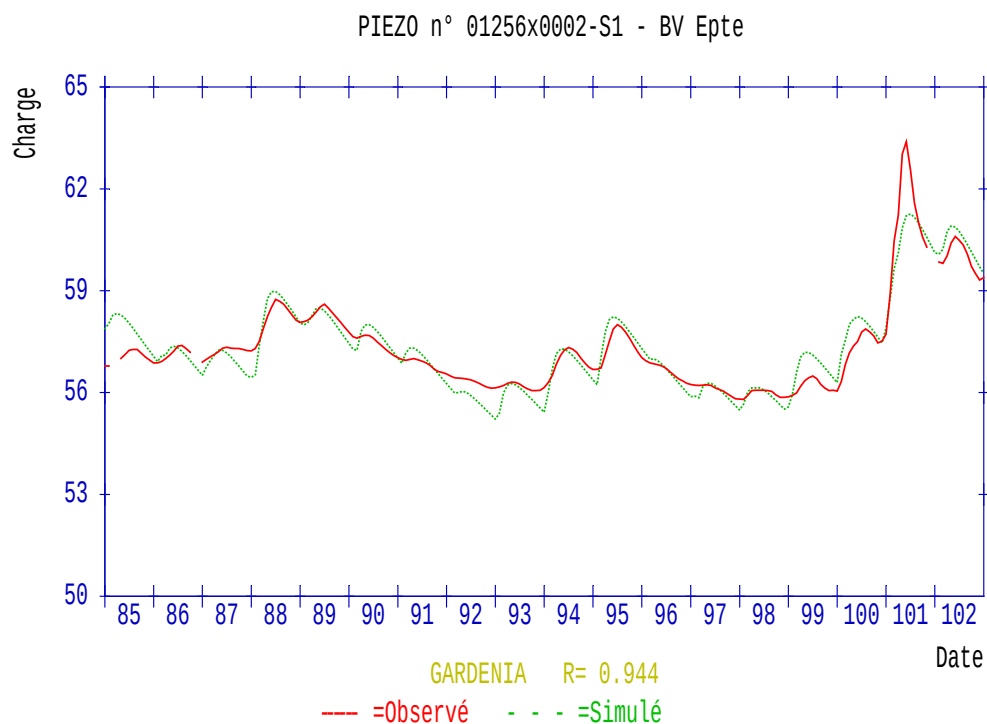


Fig. 24 - Simulation pluie – niveau du piézomètre de Civières

Le tabl. 9 suivant récapitule sur la même période 1973 à 2002, les termes du bilan des différents calages pluie-débit et pluie-niveau piézométrique :

Bassin Versant/ Cours d'eau	Station Hydro- métrique/ Piézomètre	Pluie	ETR Réelle	Pluie efficace		Ecoulem ent rapide QRAP		Ecoulement lent Qlent		Variation de stock dSTO		Ecoulement calculé de la rivière		(Qlent+ dSTO) /PEF	Débit de fuite	
		mm	Mm	mm	m3/s	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	m3/s	%	mm	m3/s
Epte	Fourges	803	574	229	9.97	59	26	160	70	10	4	212	9.22	74	-7	-0.3
BV Epte	Piézomètre Civières	741	537	204	8.85	64	31	134	66	5	2			68.5		
	Piézomètre Farceaux	706	555	151	6.57	22	15	118	78	11	7			85.4		
	Piézomètre Bezancourt	762	575	187	8.14	54	29	129	69	4	2			71.3		

Tabl. 9 - Calages Gardenia sur le bassin versant de l'Epte

Ce tableau montre que la pluie efficace moyenne (écoulement rapide + écoulement souterrain) varie entre 151 et 229 mm, ce qui correspond à la forte variabilité de la pluie dans ce bassin.

La variation du stock est positive pour les 4 modèles et varie de 2 à 10 mm.

Ce bilan hydrique quantitatif sous Gardenia se résume selon le schéma (fig. 25) en page suivante :

- en bleu les entrées d'eaux du système du bassin versant.
- et en rouge les sorties d'eaux du système du bassin versant.

On obtient ainsi une forte influence des écoulements souterrains (70 %) et une augmentation du stock souterrain par rapport aux 30 dernières années de 10 mm. Les prélèvements peuvent en partie revenir dans le système par infiltration, une grande partie part a priori par l'évapotranspiration.

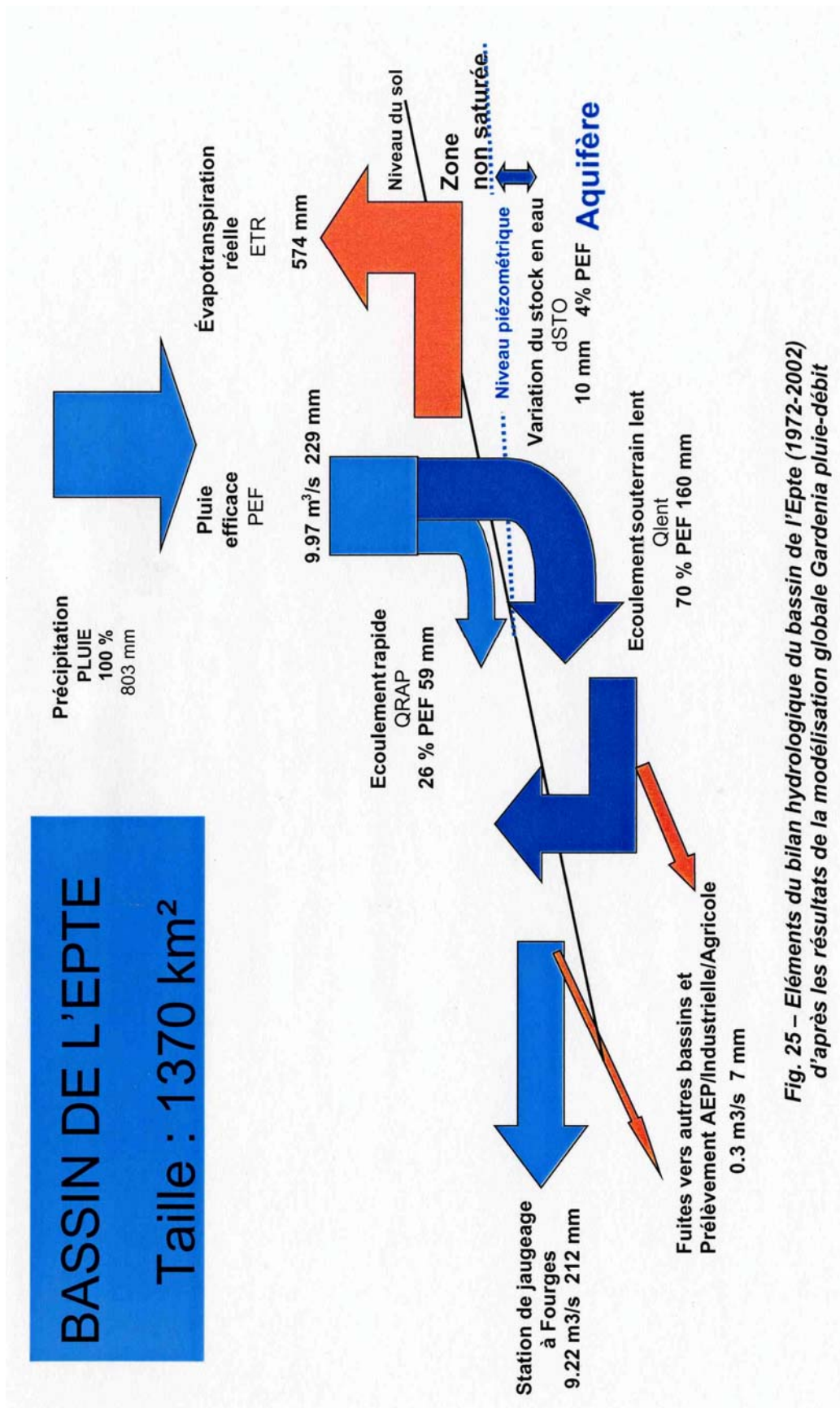


Fig. 25 – Éléments du bilan hydrologique du bassin de l'Epte (1972-2002) d'après les résultats de la modélisation globale Gardenia pluie-débit

Le tableau suivant récapitule les autres résultats des calages pluie-débit et pluie-niveau piézométrique :

Bassin Versant/ Cours d'eau	Station Hydromé- trique/ Piézomètre	Surf. du bassin versant km ²	Débit extérieur m ³ /s	Coef. emmaga- sinement globale %	Coefficient d'ajusteme nt nat.	Coef. Pluie %	Coef. ETP %	RUMAX mm	RUIPER mm	THG mois	TG mois	Diff. stockage mm	Période de Calage
Epte	Fourges	1370	-0.3		0.91	-3.4	21.2	103.6	276.5	3.2	17.8	10	1972- 2001
BV Epte	Piézomètre Civières			0.6	0.93	-10.8	5	115	261	6	7	5	1965- 2002
	Piézomètre Farceaux			6	0.94	-15	15	132	356	1	30	7	1985- 2002
	Piézomètre Bezancourt			1.5	0.91	-8.3	5	145	233	4	5	5	1965- 2002

Tabl. 10 - Paramètres hydrologiques des calages Gardenia sur le bassin versant de l'Epte

Le coefficient d'emmagasinement global varie de 0.8 à 6 %. La valeur sur le piézomètre à Civières traduit sa position en fond d'une vallée sèche marquée qui engendre une faible amplitude, 6 fois plus faible que celle du piézomètre de Farceaux. Les pluies ont été corrigées pour chaque piézomètre par rapport à leur localisation dans le bassin (-5 à -15 %).

La valeur du RUMAX est variable, dans des limites réalistes, par rapport à la couverture au voisinage des piézomètres, qui ne sont pas connus dans le détail.

Le temps de demi-tarissement du réservoir rapide est d'environ 3 mois.

Le temps de demi-tarissement du réservoir lent est d'environ 18 mois, ce qui témoigne de la forte inertie et capacité de stockage de l'aquifère crayeux.

On peut observer un débit souterrain important pour le bassin versant global et les trois piézomètres avec 68 à 85 % de part de débit drainé dans le débit total. Cette variabilité pourrait être encore plus importante car l'épaisseur de la couverture de limons varie fortement et influence fortement le taux de recharge de la nappe, qui est directement lié au débit souterrain.

Fluctuations annuelles du bilan hydrique

L'un des intérêts majeurs de Gardenia est de permettre d'apprécier les variations des différents termes du bilan au fil des années.

Si on examine les fluctuations du bilan hydrique au fil du temps, on peut calculer la recharge efficace annuelle du bassin.

Pour réaliser le graphique suivant, on a considéré un découpage des années hydrologiques correspondant aux périodes de septembre à août de chaque année (séquence annuelle de recharge indépendante). Les calages pluie - débit et pluie -

niveaux piézométriques conduisent à des jeux de paramètres globalement cohérents entre eux.

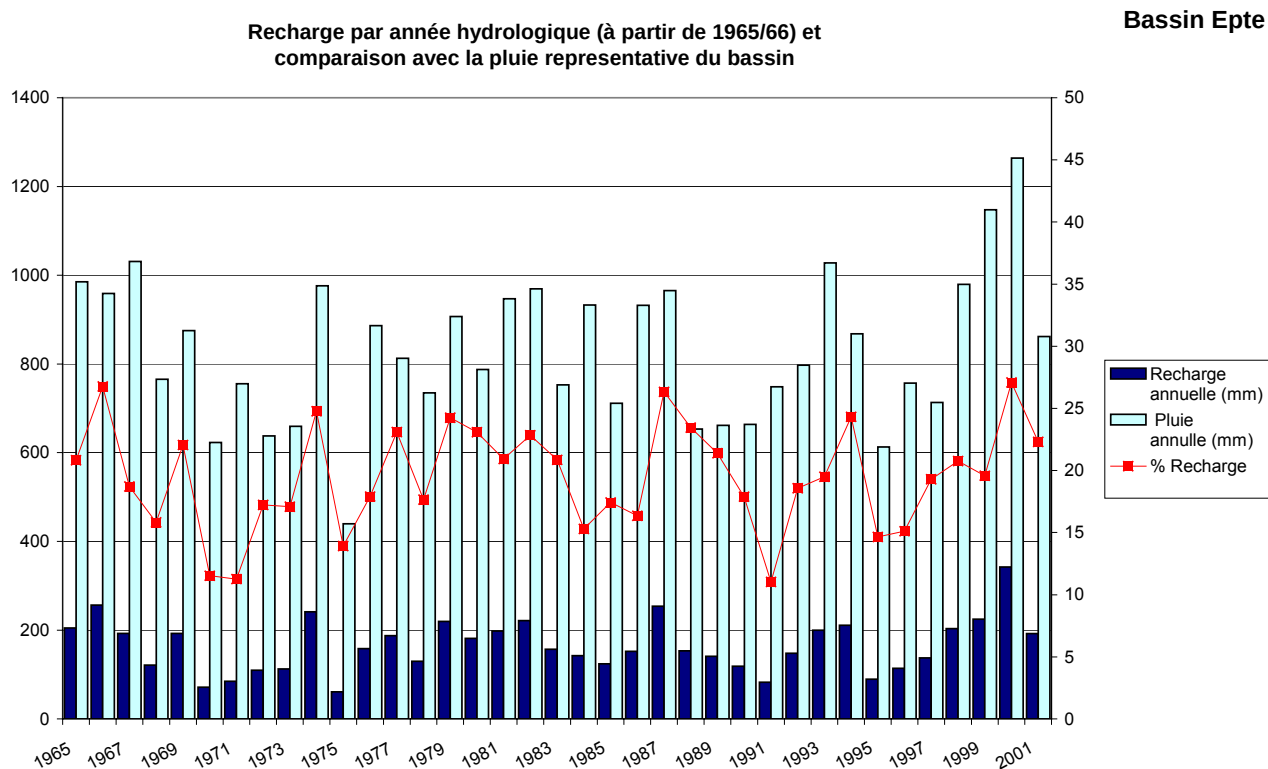


Fig. 26 - Recharge annuelle dans le bassin versant de l'Epte

La fig. 26 montre des relations entre la pluie et la recharge par année hydrologique, calculée avec le modèle pluie-débit. Le découpage correspond aux périodes de septembre à août de chaque année, ce qui permet d'avoir des séquences annuelles de recharges indépendantes. La recharge commence en septembre et atteint généralement son maximum autour de février.

On peut observer des recharges entre 60 et 340 mm. Les périodes de faibles pluies, les années 1970, 1991 et 1995 montrent un pourcentage recharge/pluie faible inférieur à 15 % des pluies annuelles tandis qu'en période pluvieuse, les années 1974, 1987 ou 2000, le pourcentage est supérieur à 25 %.

Nous observons alors une augmentation des effets d'années extrêmes sur le taux de recharge. L'année hydrologique 1971/1972 montre une différence de pluie par rapport à l'année antérieure de 250 mm correspondant à 29 %. La recharge baisse en même temps de 22 % à 11 % de la pluie, correspondant à 71 mm contre 193 mm l'année avant.

Le coefficient de variation de la recharge annuelle (35%) est nettement plus fort que celui de la pluie (21%) mais moindre que celui de la pluie efficace (47%). La différence de variabilité entre la pluie efficace et la recharge s'explique par l'effet régulateur de la zone non-saturée. La variabilité interannuelle de l'ETR est la plus faible avec 16%.

Eléments du bilan hydrologique	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation
	mm	mm	mm	mm	%
PLUIE corrigée	1220.8	425.1	798.8	166.9	21%
PLUIE EFFICACE	563.2	47.7	227.4	105.9	47%
EVAPOTRANSPIRATION RELLE	776.3	377.4	571.4	90.6	16%
RECHARGE	340.9	61.7	166.8	58.8	35%

Bassin versant de l'Epte à Gournay (calage GARDENIA pluie - débit) - Statistiques sur les valeurs annuelles moyennes (années hydrologiques commençant par septembre) de la période de 30 ans allant de 1972-73 à 2001-2002

Discussion

On note un calage plutôt mauvais en étiage dû probablement à des prélèvements supplémentaires (irrigation plus importante en période sèche) et surtout à un débit de fuite qui pourrait être moins fort en basses eaux (c'est une constante fixe pour Gardenia). Le calage des très hautes eaux est également difficile car le pas de temps (mensuel) n'est pas adapté pour des débits de pointes de très courtes durées.

De manière plus générale, le calage de Gardenia pour des situations extrêmes est rarement pertinent car les événements sur lesquels Gardenia peut s'appuyer sont trop rares pour être bien représentatifs.

De plus, le fonctionnement de l'aquifère crayeux sous Gardenia est régi par un certain nombre de paramètres fixes. Or, en situation extrême, il peut y avoir des effets non ordinaires liés à des limites hydrologiques du système aquifère : tarissement ou débordement significatif, ennoiment/dénoiment de karst, nappe perchée. Ceci contribue aussi à rendre difficile le calage aux extrêmes.

c) Rapide comparaison des deux types de bilans

Les données utilisées ne sont pas tout à fait les mêmes : période 1973-2002 pour Gardenia (avec stockage) contre 1973-1998 pour le bilan moyen global (sans stockage ni déstockage de l'aquifère crayeux).

Il a été utilisé les données de pluies de Gournay-en-Bray et d'Etrepagny pour le bilan moyen global et seulement la station de Gournay-en-Bray pour Gardenia.

Il a été utilisé les données d'ETP d'Evreux Huest et de Rouen Boos pour le bilan moyen global et seulement la station d'Evreux Huest pour Gardenia.

Les prélèvements sont concernés dans leur intégralité pour Gardenia (0.2 à 0.3 m³/s et fixé à 0.3 m³/s) et juste à hauteur de la part supposée évapotranspirée pour le bilan moyen (0.14 m³/s).

Mais avec les deux méthodes différentes, les résultats du bilan restent particulièrement proches :

- bilan équilibré pour Gardenia et le bilan moyen global (si on considère que les prélèvements ne sont pas intégralement perdus pour le bilan, on arriverait à un léger excédent pour Gardenia),
- précipitations efficaces de l'ordre de 230 mm pour Gardenia et 220 mm pour le bilan moyen global,
- RFU max voisine de 100 mm pour Gardenia contre 80 mm pour le bilan moyen global.

5.2.6. Bassin versant de l'Eure amont

Le bassin versant de l'Eure amont s'étend de la confluence de l'Avre à celle de l'Iton. Il déborde légèrement dans sa partie sud sur le département de l'Eure-et-Loir.

Le bassin versant est entièrement implanté dans les terrains crayeux mais il comprend également la moitié ouest du plateau tertiaire de Madrie sur sa rive droite et les buttes tertiaires résiduelles sur sa rive gauche.

On notera que la partie plus amont de la rivière Eure (et des ses affluents amont) située en Eure-et-Loir n'est pas entièrement implantée dans les terrains crayeux, mais bénéficie aussi en rive droite d'importants affleurements tertiaires et dans son amont de faciès sableux (Sables du Perche du Cénomaniens).

Une dernière particularité majeure de ce bassin versant est de connaître une double confluence de l'Iton. En effet, à la confluence en surface de l'Iton à hauteur d'Acquigny s'ajoute une seconde confluence souterraine (c'est à dire une affluence) quelques kilomètres à l'amont débutant entre Gravigny et Normanville pour finir à Cailly-sur-Eure. Cette affluence se matérialise sous forme de sources à gros débits.

Les données utilisées pour le bilan sont :

- les stations de La-Couture-Boussey et Evreux-Huest pour la pluie,
- la station d'Evreux-Huest pour l'ETP,
- la station de jaugeage de Cailly-sur-Eure en sortie, les stations de jaugeage en entrée de Charpont (Eure), Garnay (Blaise), Muzy (Avre), Oulin (Vesgres),
- les piézomètres en plateau de Balines, Chaignes et Miserey et de Fains, Breuilpont et Croisy-sur-Eure en vallée.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1973-1998 (bornes incluses).

Les sources de Cailly-sur-Eure, dont une grande partie de l'alimentation provient de l'affluence souterraine de l'Iton depuis Gravigny, sont situées à hauteur de la station de jaugeage. On considérera par hypothèse que la moitié du débit sera à prendre en compte pour le bilan sur la station de jaugeage

L'affluence a un débit d'étiage de près de 670 l/s mesuré en période de léger étiage (Rapport BRGM 80SGN715PNO). Il a été considéré un débit moyen de 800 l/s. Les échanges entre bassins versants seraient constitués par une affluence moyenne de l'Iton de 400 l/s.

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à 5.5 millions m³/an. L'essentiel des prélèvements est pour l'usage AEP. On notera en seconde place l'usage agricole qui devance légèrement l'usage AEI.

Le poids des prélèvements reste d'un point de vue quantitatif modéré (5%) : les pertes par prélèvements atteignent près d'1.6 % du flux annuel efficace.

Le bilan est déficitaire de manière significative : 17 % (aux marges d'erreurs et d'incertitudes habituelles), soit 0.64 m³/s de déficit.

Les hypothèses possibles de ce déficit sont nombreuses mais il est déjà constaté que les débits de rivières en entrée du bassin versant ne semblent pas intégralement représentatifs de tous les flux à l'entrée : il est indiqué que la station de Charpont est située sur un bras principal de l'Eure, ce qui semble sous-entendre qu'une partie du débit de l'Eure (sur un bras secondaire ?) n'est pas pris en compte.

Si l'ensemble du débit d'affluence de l'Iton a un impact sur le débit de la station de jaugeage (et non la moitié), le déficit n'atteint plus que 6 %.

D'autres débits de fuite des bassins versants sont possibles par rapport aux données de débit des stations de jaugeage sur ces BV (Muzy, Coudanne, Vesgres) : débits sous-alluviaux, biefs ou bras secondaires, apports diffus en pied de versant.

Le bassin versant de l'Eure amont pourrait être, en rive gauche, plus important que celui considéré, notamment en rive gauche amont. De plus, la limite du bassin versant ne remonte pas jusqu'à Charpont.

D'autres hypothèses pour expliquer le décalage dans le bilan sont également possibles :

- pluies plus importantes sur le bassin versant que celles indiquées par les stations utilisées (Evreux-Huest et La-Couture-Boussey) malgré la bonne validité apparente. La représentativité des stations va être d'autant plus sensible si la pluviométrie moyenne est plus basse ;
- période peu représentative (on notera qu'on retrouve à peu de choses près le même déficit si on travaille sur toute la période de travail 1972-2001) ;
- impact dû à la présence du plateau tertiaire de Madrie.

La valeur de précipitations efficaces moyennes (147 mm) est sur le bassin Eure amont après le bassin versant de l'Avre (133 mm), la plus basse, surtout que la RFUMax est basse (60 mm).

Cette valeur de 60 mm pour la RFU max avait déjà été attribuée aux bassins versants de l'Eure et de l'Avre par le BURGEAP en 1974, dans un contexte climatique un peu plus sec que la moyenne.

Le débit de la rivière Avre est bien en conformité avec une faible valeur de précipitations efficaces. Par contre, il n'en est pas de même pour l'Eure, où la rivière indiquerait une lame d'eau annuelle en sortie de 185 mm environ (en réalité probablement plus basse), loin des 147 mm efficaces.

C'est donc dans la caractérisation des débits des cours à l'entrée comparée aux débits de sorties qui semble expliciter le déficit du bilan (plus que la bonne évaluation des précipitations efficaces).

On notera enfin que les nouvelles stations de jaugeage de Saint Georges-de-Motel (en entrée du bassin versant) et de Pacy-sur-Eure (peu après la confluence de la Vesgres) devraient permettre d'expliquer pour partie du moins les raisons du décalage observé.

5.2.7. Bassin versant de l'Eure aval

Le bassin versant de l'Eure aval s'étend de la confluence de l'Iton à celle de l'Eure dans la Seine.

Le bassin versant est entièrement implanté dans les terrains crayeux (à l'exception près de l'extrémité nord du plateau tertiaire de Madrie et de quelques petites buttes tertiaires résiduelles).

Le bassin ne présente pas de particularité spécifique. On notera néanmoins que la confluence de la Seine et de l'Eure s'effectue progressivement sur une dizaine de kilomètres. Une partie du débit de la Seine court-circuite le barrage à Poses sous forme de débits de fuite sous-alluviaux dans la plaine de Poses.

Le bassin versant de la Seine-Gambon a été arrêté à Poses. La portion de Seine entre Poses et Elbeuf est intégrée dans le bassin versant Eure Aval.

Le bilan hydrique est fait sur Louviers avant la zone de confluence de l'Eure dans la Seine.

Les données utilisées pour le bilan sont :

- la station des Andelys pour la pluie,
- la station d'Evreux-Huest et de Rouen Boos pour l'ETP,
- la station de jaugeage de Louviers en sortie, les stations de jaugeage en entrée de Normanville (Iton) et de Cailly-sur-Eure (Eure),
- les piézomètres en plateau de Montaure, Le-Vaudreuil en vallée.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1973-1992 (bornes incluses).

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à 8.8 millions m³/an, principalement dans la zone aval du bassin versant. Au droit de la station de jaugeage de débit de la rivière à Louviers, on ne compte que 0.2 millions m³/an (3 forages AEP). L'essentiel des prélèvements est pour l'usage AEP. L'usage AEI est en gros moitié moins important. L'usage agricole est plutôt marginal.

Le poids des prélèvements est d'un point de vue quantitatif important (12 %). Les pertes par prélèvements restent significatives, avec 4 % du flux annuel efficace. C'est en terme de pression quantitative des prélèvements le troisième bassin le plus sollicité.

Le bilan est aussi déficitaire sur le bassin versant Eure amont en pourcentage, 16 % (au-delà des marges d'erreur et d'incertitudes habituelles), mais cela ne correspond plus qu'à un déficit de 0.24 m³/s de déficit.

Là encore, comme pour le bassin versant de l'Eure amont, on constate une lame d'eau théorique de la rivière estimée à 235 mm environ, assez supérieure à la valeur de précipitations efficaces calculées (estimation de 205 mm).

Le décalage pourrait venir a priori de la représentativité :

- soit des données climatiques (P, ETP sur les stations prises),
- soit des données de débit à l'entrée (débits de fuites sous alluviales, ...).

5.2.8. Bassin versant de l'Iton

a) *Bilan moyen global*

Le bassin versant de l'Iton est entièrement implanté dans les terrains crayeux (il existe de nombreux reliquats tertiaires disséminés sous forme d'épandages dans les formations superficielles, piégés dans des poches karstiques.....).

Le bassin de l'Iton est le bassin versant qui présente le plus de particularités :

- séparation de la rivière en 2 bras autour de Damville,
- cours d'eau en situation perchée sur une partie du linéaire, au droit du Sec-Iton, mais aussi vraisemblablement en amont, avec nombreuses pertes et sources à forts débits,
- double confluence à l'aval de l'Iton vers l'Eure,
- dérivation anthropique d'une partie du débit de l'Iton vers le bassin de l'Avre,
- petit cours d'eau affluent (Rouloir) prolongé à l'amont par une longue vallée sèche, la vallée du Lême.

Les données utilisées pour le bilan sont :

- la station d'Evreux-Huest pour la pluie,
- la station d'Evreux-Huest pour l'ETP,
- la station de jaugeage de Normanville en sortie,
- les piézomètres en plateau de Miserey, Graveron-Semerville, Normanville en vallée.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1973-1992 (bornes incluses).

Après l'Oison, c'est sur l'Iton que le débit spécifique est l'un des plus faibles. Si la faible alimentation efficace l'explique en grande partie, c'est aussi les nombreux débits de fuite de l'Iton, particulièrement à hauteur de Normanville :

- 200 l/s dérivés vers l'Avre (estimation basée sur la moitié du débit sur 1 des 2 bras),
- 500 l/s de débit de fuite sous alluviales (valeur estimée d'après le rapport BRGM d'Evaluation des Ressources Hydrauliques n°70SGN041PNO) qui ressortent en aval de Normanville aux sources de Brosville,
- 800 l/s d'effluence de Gravigny (Iton) vers Cailly-sur-Eure (Eure), qui disparaissent sous forme de pertes dans la vallée de l'Iton pour ressortir sous forme de sources de pied de versant à Cailly-sur-Eure (valeurs estimées d'après les valeurs de mesures des sources de Paris à Cailly-sur-Eure : rapport BRGM n° 80SGN715HNO),

soit un total de perte du débit de l'Iton à la station de Normanville de 1.5 m³/s.

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à près de 11 millions m³/an, dont 6.25 millions m³/an avant Normanville.

L'essentiel des prélèvements est pour l'usage AEP. L'usage AEI arrive en seconde place, avec un poids plus particulièrement marqué vers l'aval. L'usage agricole est relativement important (10 %) mais reste en troisième position.

Le poids des prélèvements est d'un point de vue quantitatif modéré (5 %) : les pertes par prélèvements restent limitées avec 1.6 % du flux annuel efficace.

Le bilan est proche de l'équilibre, légèrement excédentaire : 5 % (bien en-dessus des marges d'erreur et d'incertitudes habituelles).

On notera donc que 29 % du débit de sortie du bassin versant échappe ainsi à la mesure à la station de jaugeage la plus aval à Normanville

b) Bilan par Gardenia

Données et hypothèses pour Gardenia

Le bassin versant jusqu'à Normanville est de 1050 km².

L'analyse des cartes piézométriques et de l'Atlas Hydrogéologique de l'Eure (BRGM, 1991) montre qu'il existe avant la confluence de l'Iton dans l'Eure un écoulement souterrain, en aval de la station de Normanville, vers l'Eure, qui constitue un niveau de base régional.

Le dénivelé de la nappe (δh) entre l'Iton à Normanville et l'Eure est de l'ordre de 30 – 40 m.

Le front de nappe (L) est de l'ordre de 1.3 km. Le gradient piézométrique est de l'ordre de 0.5 à 0.7 %. On peut estimer le flux passant souterrainement à l'aval du bassin de l'Iton à :

$$\text{Débit} = \text{vitesse} * \text{Surface} = (K * \delta h) * (L * e) = K * 0.5 \text{ à } 0.7\% * 1300 * (30 \text{ à } 40).$$

Si on prend K à $1 * 10^{-3}$ m/s (valeurs moyennes pour la craie), on trouve un débit moyen de fuite compris entre 195 et 364 l/s. On fait pour ce type de calcul l'hypothèse d'un écoulement en milieu poreux.

Il existe par ailleurs des pertes (avec écoulements karstiques importants) qui semblent court-circuiter la station de Normanville, soit directement vers l'Eure, soit vers le cours aval de l'Iton (débit de fuite sous alluviale ré-émergeant plus aval autour de Brosville). D'après l'atlas hydrogéologique de l'Eure (BRGM, 1989), des traçages positifs ont été réalisés qui montrent un écoulement souterrain qui ressort au niveau de sources importantes.

Ces sources vers l'Eure sont situées à Cailly-sur-Eure, en rive gauche de l'Eure :

Nom	BRGM	X LAMBERT I	LAMBERT II	Z NGF	DATE	débit l/s	Typ	NOM COM	DEBIT l/s
Source des Closets	01502X0008	517.740	159.150	22	19680701	19	mesuré	FONTAINE-HEUDEBOURG	19
	01502X0032	518.400	158.900	24	19680301	1	estimé	CAILLY	1
Source ville de Paris	01502X0035	517.710	157.600	24	1907-1924	226	moy. Annuelle	CAILLY	226
Source Cressonnières (Retout)	01502X0036	517.790	157.520	28	1907-1924	0	moy. Annuelle	CAILLY	0
Source ville de Paris	01502X0037	517.620	157.720	26	1907-1924	201	moy. Annuelle	CAILLY	201
Ancien Moulin (Ville de Paris)	01502X0038	517.570	157.810	24	1907-1924	124	moy. Annuelle	CAILLY	124
Les Cressonnières	01502X0039	517.550	157.880	24	1907-1924	0	moy. Annuelle	CAILLY	0
Marais de St Mard	01502X0041	519.450	156.890	25	1907-1924	0		LA CROIX-SAINT-LEUFROY	0
Le PrU du Horm	01502X0049	518.850	156.770	23	19680701	122	mesuré	LA CROIX-SAINT-LEUFROY	122

Tabl. 11 - Sources de Cailly-sur-Eure (effluence de l'Iton vers le bassin de l'Eure)

On peut alors retenir une valeur totale mesurée de 693 l/s pour ces sources alimentées par les pertes de l'Itton et les eaux souterraines du bassin versant de l'Eure aval (valeurs indiquées concordantes avec les valeurs du rapport 80SGN715HNO). Il faut prendre en compte qu'une partie des sources n'est pas mesurée ou n'apparaît pas. La valeur peut alors être plus importante : on retient un débit de fuite de l'ordre de 700 l/s à 1000 l/s.

Les données climatologiques utilisées sont celles de la station d'Evreux-Huest sur une période de 35 ans allant de 1968 à 2002.

La station pluviométrique d'Evreux Huest (moyenne de 615 mm) a été considérée comme représentative des conditions climatiques regardant sur le bassin versant de l'Itton (moyenne de 654 mm) à un coefficient correctif près (+ 6.3 %).

L'évapotranspiration potentielle Penman (année civile) varie entre 620 mm en 1981 et 834 mm en 1990, autour d'une valeur moyenne inter annuelle de 704 mm.

Les débits moyens annuels de l'Itton à Normanville varient entre 2.23 m³/s en 1997 et 6.53 en 2001, autour d'une valeur moyenne inter annuelle sur 27 ans sur 27 ans (1972-85, 1987-91, 1993-1995 et 1997-2001) de 3.84 m³/s : ce module inter annuel correspond à une lame d'eau de 113 mm.

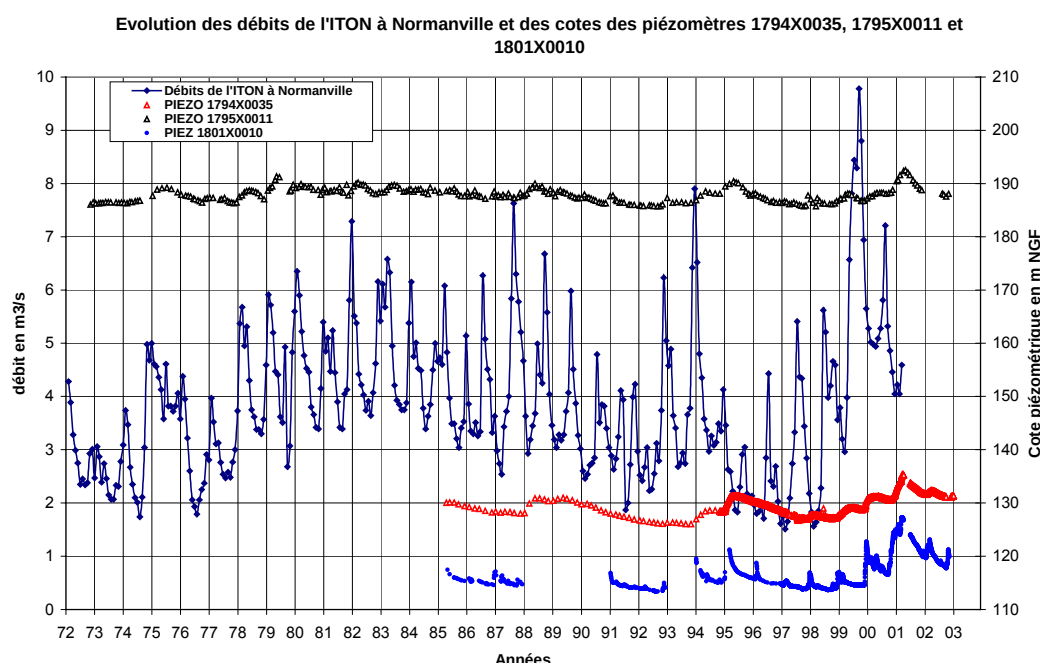


Fig. 27 - Fluctuations piézométriques et de débits sur le bassin versant de l'Itton

Les débits moyens mensuels montrent une variation forte de 1.5 à 9.8 m³/s. On peut observer une fluctuation pluriannuelle de 14 ans.

Les prélèvements disponibles de 1996 à 2000 montrent des captages qui sont globalement similaires tous les 5 ans. La moyenne des prélèvements pour le bassin en

amont de Normanville s'élève à 0.15 m³/s (irrigation incluse), une valeur faible par rapport au débit de l'Iton.

On peut estimer le flux passant souterrainement à l'aval du bassin de l'Iton à 0.4 à 0.6 m³/s.

Les sources alimentées par les pertes de l'Iton s'élèvent à 0.7 à 1 m³/s.

Globalement, on peut alors estimer le débit qui sort du circuit de bilan à 1.5 m³/s.

Trois piézomètres (Bois Arnault, Nogent-Le-Sec, Coulonges) ont aussi été choisis pour le calcul ponctuel des recharges dans le bassin :

Aucune valeur du coefficient d'emmagasinement n'est connue pour le bassin.

Les valeurs existantes dans le département de l'Eure, dans les vallées humides, sont de :

$S = 5 \cdot 10^{-2}$ à $2 \cdot 10^{-4}$ m²/s.

Le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère crayeux est a priori plus bas sous les plateaux.

Résultats des simulations avec Gardenia

Les figures suivantes donnent sur les périodes de calage les graphiques des simulations retenues.

Chaque figure présente les valeurs mesurées (trait plein en rouge), les valeurs simulées (pointillé vert) et la décomposition en écoulement rapide, à savoir ruissellement et écoulement souterrain karstique et écoulement lent souterrain (pointillé bleu).

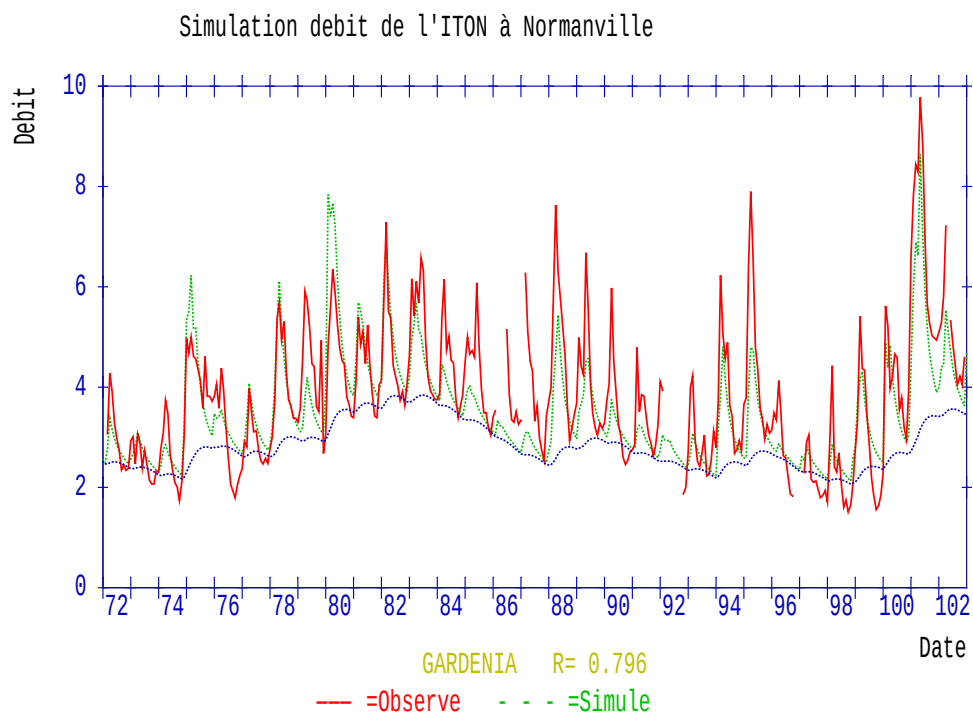


Fig. 28 - Simulation pluie – débit de l'Iton à Normanville
(Débit sortant du bassin : 1.5 m³/s)

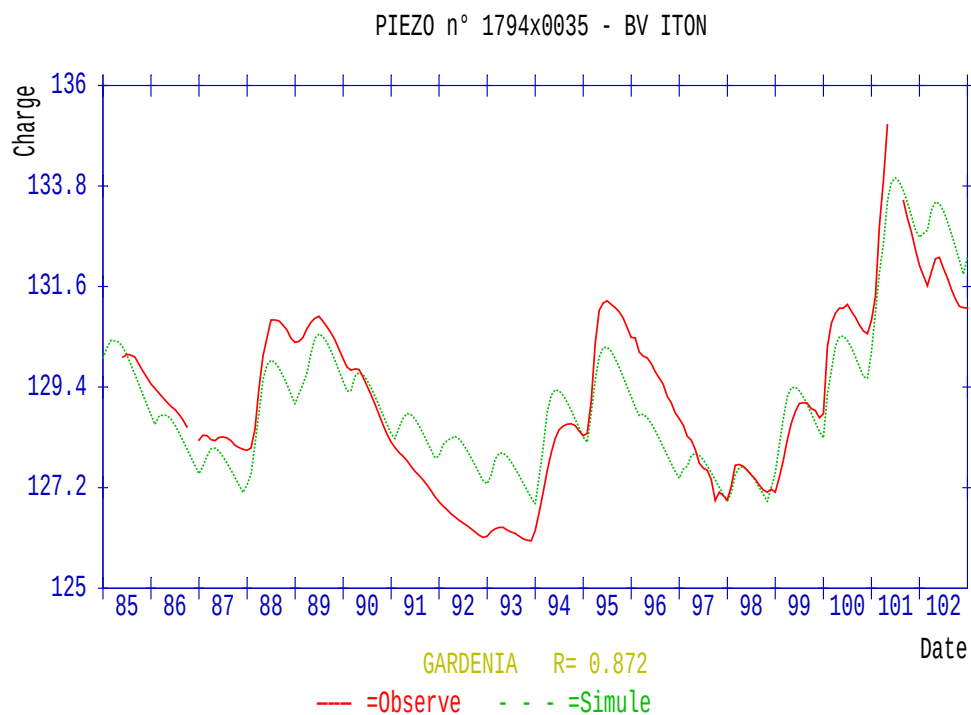


Fig. 29 - Simulation pluie – niveau sur le piézomètre Nogent-Le-Sec
(Débit sortant du bassin : 1.5 m³/s)

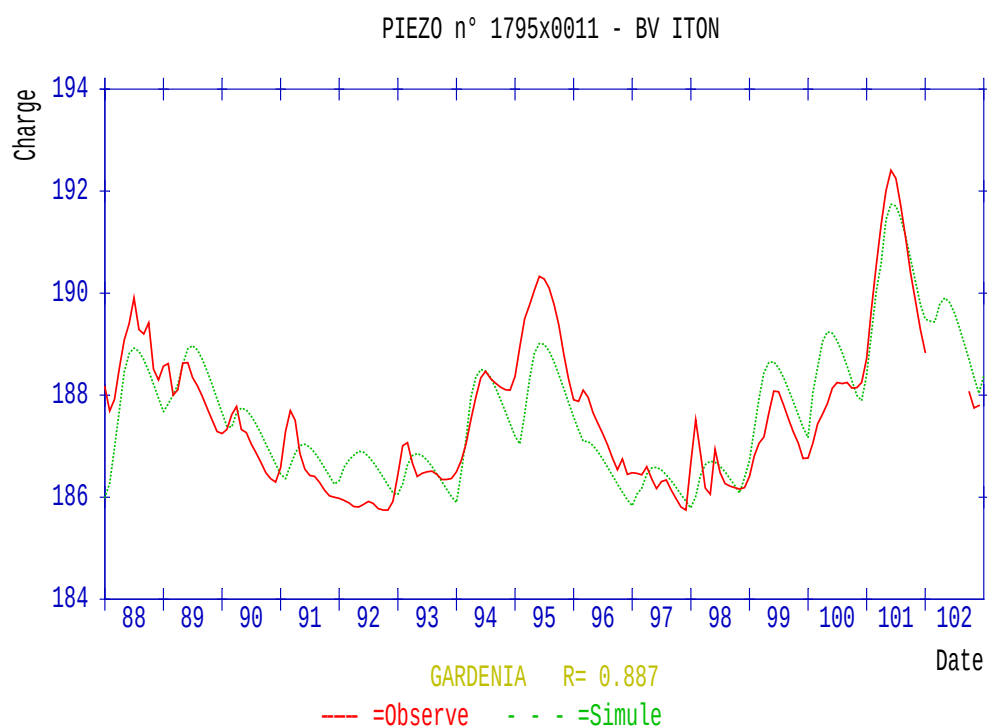


Fig. 30 - Simulation pluie – niveau sur le piézomètre Bois Arnault (Débit sortant du bassin: 1.5 m³/s)

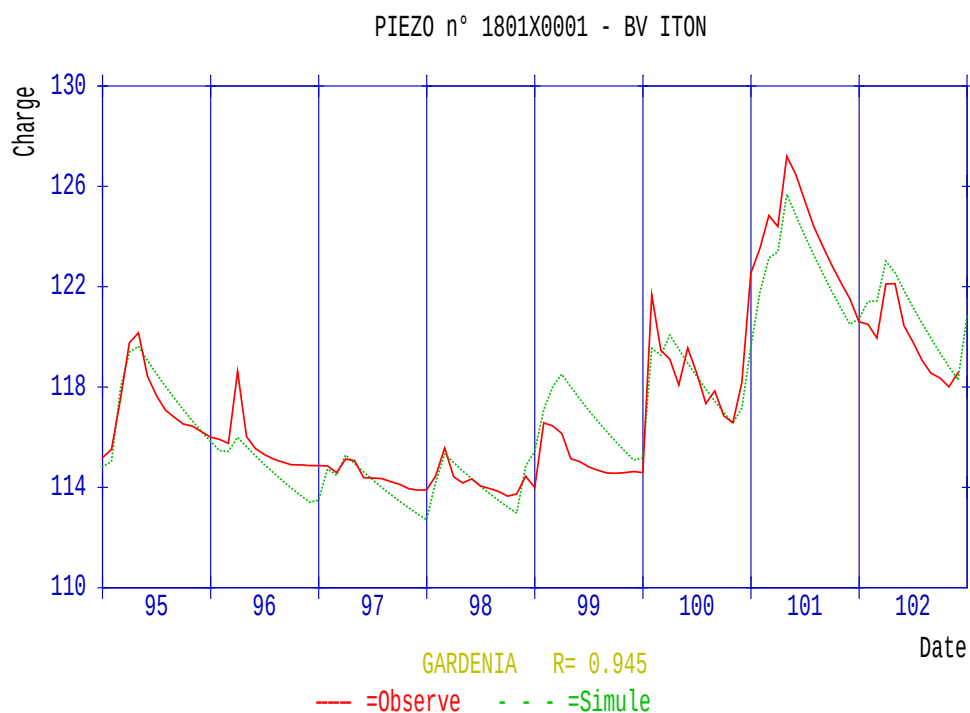


Fig. 31 - Simulation pluie – niveau sur le piézomètre de Coulonges (Débit sortant du bassin : 1.5 m³/s)

Le tableau suivant récapitule sur la même période 1973 à 2002, les termes du bilan des calages pluie-débit et pluie-piézométrie :

Bassin Versant/ Cours d'eau	Station Hydro-Métrique/ Piézomètre	Pluie mm	ETP réelle mm	Pluie Efficace		Ecoulement rapide QRAP		Ecoulement lent Qlent		Variation de stock dSTO		Ecoulement calculé de la rivière		(Qlent+dSTO)/PEF %	Debit de fuite	
				Mm	m3/s	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	m3/s		mm	m3/s
Iton	Normanville	621	458	162	5.39	24	15	128	79	10	6	117	3.54	86	-45	-1.5
BV Iton	Piezo 1794	621	458	162	5.39	0.8	1	135	92	11	8			99.7		
	Piezo 1795	621	458	162	5.39	28	19	112	77	6	4			80.8		
	Piezo 1801	621	458	162	5.39	0.4	0	137	94	8	5			99.3		

Tabl. 12 - Résultats des calages Gardenia Pluie-Débit et pluie-Niveau piézométrique

Ce bilan hydrique quantitatif sous Gardenia est résumé sur la figure suivante :

- en bleu les entrées d'eaux du système du bassin versant,
- et en rouge les sorties d'eaux du système du bassin versant.

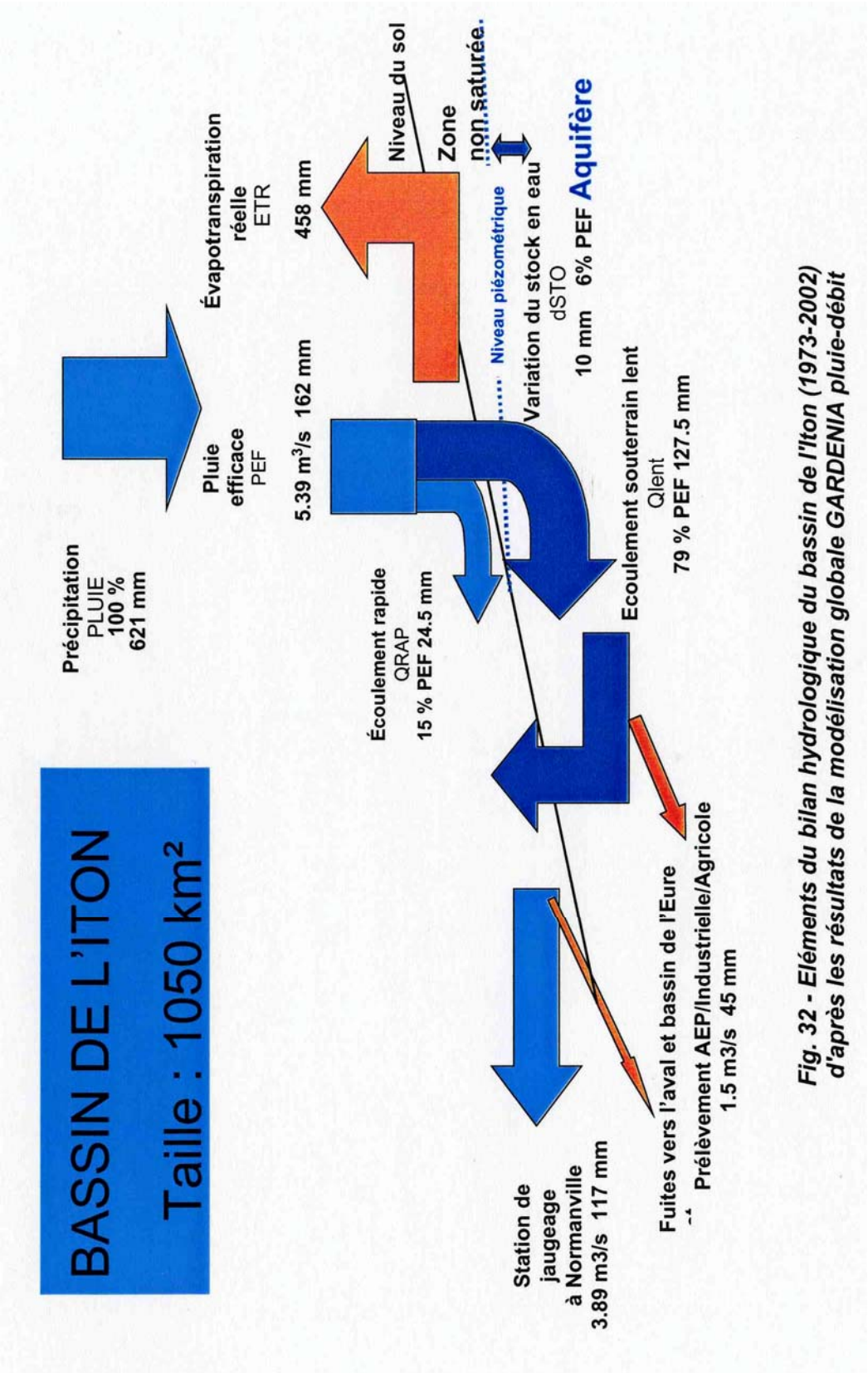
On obtient ainsi une très forte influence des écoulements souterrains lents avec 85 % de contribution au débit de la rivière.

Sur la période 1973-2004, l'aquifère crayeux a stocké en souterrain 10 mm de pluie.

Les prélèvements peuvent revenir dans le système après rejet, une partie pouvant néanmoins s'évapotranspirer.

Les débits de fuites se répartissent en :

- débits sous alluviaux vers l'aval du bassin de l'Iton,
- écoulements de fuite rapide par le réseau karstique, et lents par le milieu partant complètement vers le bassin versant de l'Eure amont.



Le tableau suivant récapitule les autres résultats des calages pluie-débit et pluie-piézométrie :

Bassin Versant/ Cours d'eau	Station Hydromé- trique/ Piézomètre	Surf. Du bassin versant km ²	Débit extérieur m ³ /s	Coef. emmaga- sinement globale %	Coefficient d'ajusteme nt nat.	Coef. Pluie %	Coef. ETP %	RUMAX mm	RUIPER Mm	THG Mois	TG mois	Diff. stockage mm	Période de Calage
Iton	Normanville	1050	-1.5		0.83	0	-5	68.4	542	4.9	43.9	10	1972-2002
BV Iton	Piezo 1794			4.5	0.87	0	-5	68.4	9975	1	23	11	1985-2002
	Piezo 1795			0.57	0.89	0	-5	68.4	625	10	2	6	1988-2002
	Piezo 1801			2.6	0.94	0	-5	68.4	9963	0.2	14	8	1995-2002

Tabl. 13 - Paramètres hydrologiques des calages Gardenia sur le bassin versant de l'Iton

Le coefficient d'emmagasinement sur les 3 piézomètres varie de 0.6 à 4.5 %.

La variation du stock est positive sur la période 1973 à 2002 pour le bassin de l'Iton de 6 à 11 mm.

La valeur maximale de la RFU (ou RUMAX) est à 68.4 mm pour le modèle globale pluie-débit et il est appliqué pour les trois modèles pluies-débits pour assurer une cohérence des valeurs.

Dans la réalité, l'hétérogénéité dans la couverture de l'aquifère crayeux est marquée, tant dans la nature des terrains (loess, argiles à silex, résidu tertiaire, craie nue) que de leurs épaisseurs, ce qui induit une forte hétérogénéité ponctuelle sur la valeur du RUMAX.

Le temps de demi-tarissement du réservoir rapide est d'environ 5 mois.

Le temps de demi-tarissement du réservoir lent est d'environ 43 mois, ce qui témoigne de la très forte inertie et capacité de stockage de l'aquifère crayeux. Ceci illustre bien les rythmes de résorption très lente des crises de hautes eaux.

Ce tableau montre un calage de la pluie de 621 mm et une pluie efficace moyenne (écoulement rapide + écoulement souterrain) à 162 mm pour le modèle global pluie-débit. Ces paramètres ont été appliqués pour les trois autres modélisations pluie-niveau de façon à rester cohérent avec le modèle global pluie-débit. La pluie et la pluie efficace sont faibles dans ce bassin versant, par rapport aux autres bassins versants du département vers le nord et l'ouest bien plus arrosés.

L'écoulement rapide avec 15 % pour l'Iton est bas pour un bassin versant à l'échelle nationale mais en accord avec les valeurs observées sur les bassins versants de la région. Ponctuellement sur les piézomètres, on atteint de 0 à 19 % d'écoulement rapide. La plus grande partie de la lame d'eau efficace, de 79 à 99 %, s'infiltre vers la nappe souterraine donnant lieu à un écoulement gravitaire lent.

Fluctuations annuelles du bilan hydrique

L'un des intérêts majeurs de Gardenia est de permettre d'apprécier les variations des différents termes du bilan au fil des années.

Si on examine les fluctuations du bilan hydrique au fil du temps, on peut calculer la recharge efficace annuelle du bassin. Pour réaliser le graphique suivant, on a considéré un découpage des années hydrologiques correspondant aux périodes de septembre à août de chaque année (séquence annuelle de recharge indépendante).

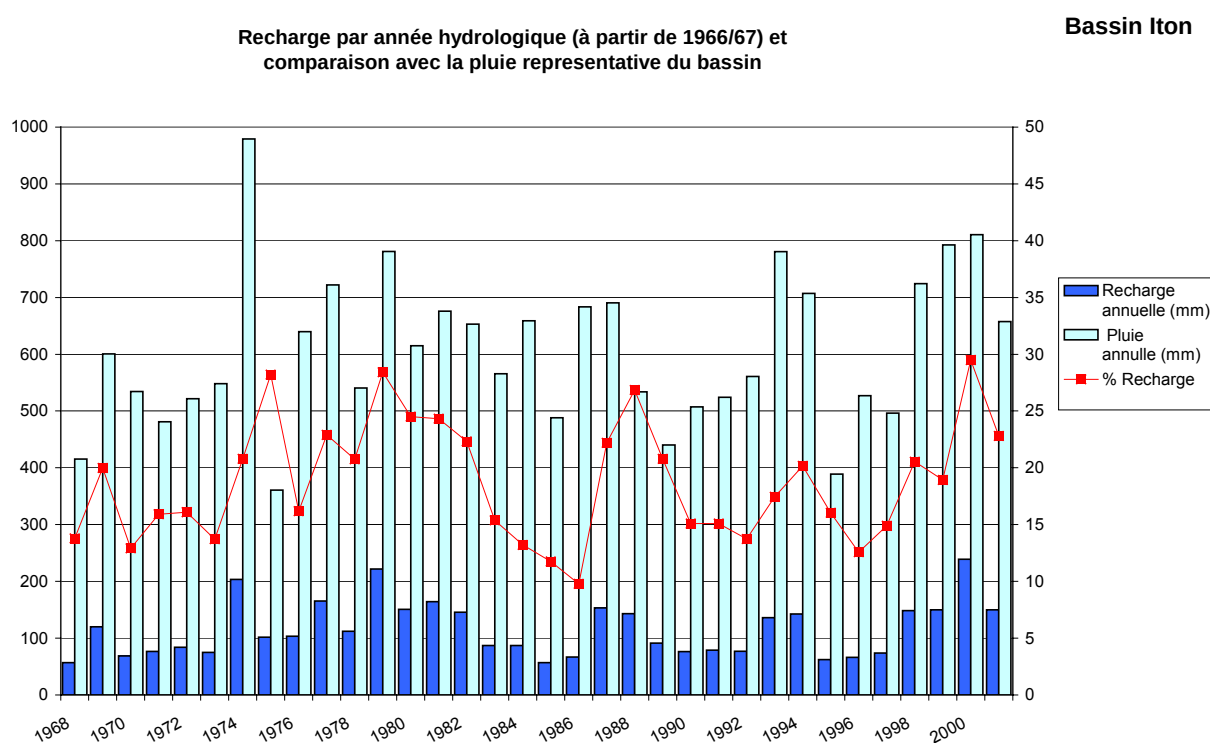


Fig. 33 - Variations de la recharge sur Normanville entre 1968 et 2002

On peut observer des recharges entre 60 et 240 mm, ce qui représente entre 10 à 30 % des précipitations annuelles. Les périodes de faibles pluies, les années 1985 et 1995, montrent un pourcentage faible inférieur à 15 % des pluies annuelles tandis qu'en période pluvieuse, les années 1988 et 2000, le pourcentage est supérieur à 25 %.

Nous observons une augmentation des effets des années extrêmes sur le taux de recharge. L'année hydrologique 1985/1986 montre une différence de pluie par rapport à l'année antérieure de 170 mm, correspondant à 25 %. La recharge baisse en même temps de 35 %, correspondant à 57 mm contre 87 mm l'année précédente.

Le graphique suivant (fig. 34) compare pour le bassin versant les fluctuations annuelles au cours du temps des entrées et sorties, ainsi que les variations de stock résultant.

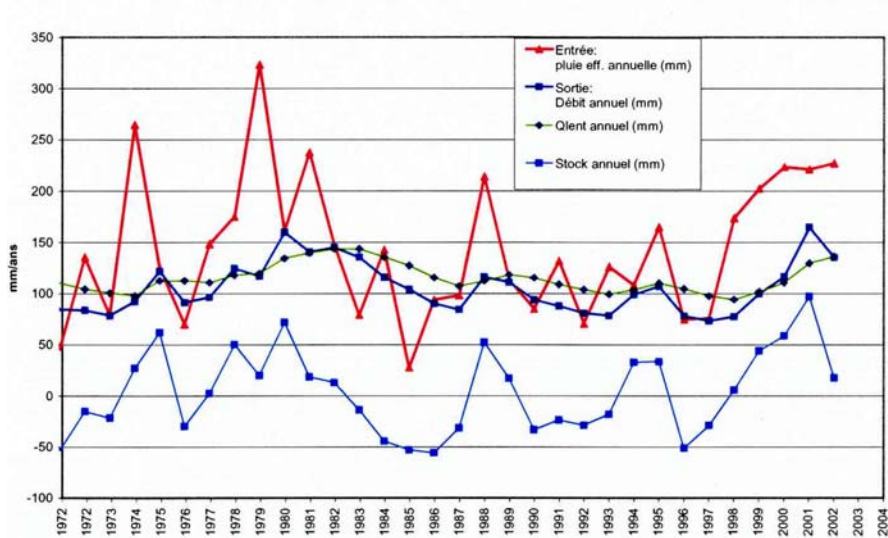


Fig.34 - Fluctuations annuelles des entrées, sorties et stockage/déstockage dans le bassin versant de l'Iton à Normanville

Les sorties sont relativement régulières, contrairement aux entrées. C'est le jeu du stockage/déstockage qui permet de lisser les débits en sortie. On peut alors observer que des périodes de stockage et de déstockage sont presque aussi irrégulières que les débits d'entrées : elles compensent les variations des entrées. Ceci n'empêche pas des phases pluriannuelles de déstockage (1982 à 1987 par exemple) ou de stockage (1998-2002).

Sur le graphique suivant (fig. 35), on observe, à pas mensuel, la décomposition du débit total calculé de l'Iton (Qcal) en débit rapide (ruissellement, écoulement souterrain rapide noté Qrap) ou débit souterrain lent (noté QS1).

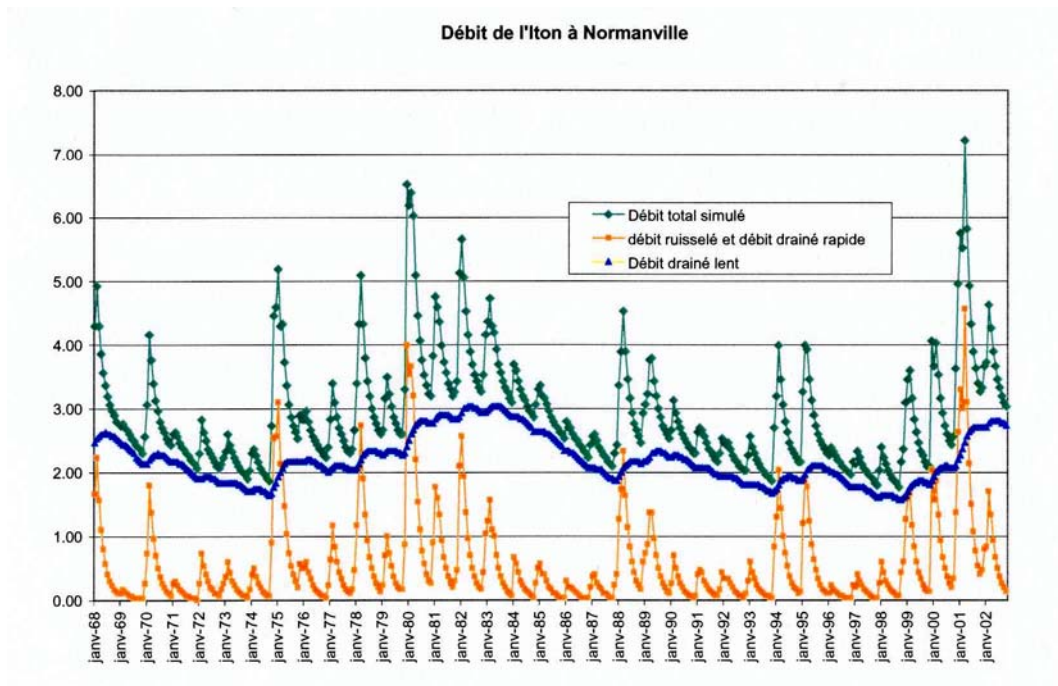


Fig. 35 - Contribution temporelle des écoulements lents et rapides au débit total à Normanville

La fig. 35 montre la participation des débits rapides et lents aux débits totaux. On observe que :

- l'eau souterraine a un cycle de 6 à 8 ans, la courbe de tarissement montre un effet de mémoire de 4 ans,
- l'alimentation de la rivière par la nappe est globalement forte : le débit de base que constitue le débit drainé lent est particulièrement bien marqué,
- les débits sont a priori plus forts entre janvier et mars avec un fort débit de ruissellement, les eaux souterraines participent le plus fortement en débit drainé en début d'été (mai/juin).

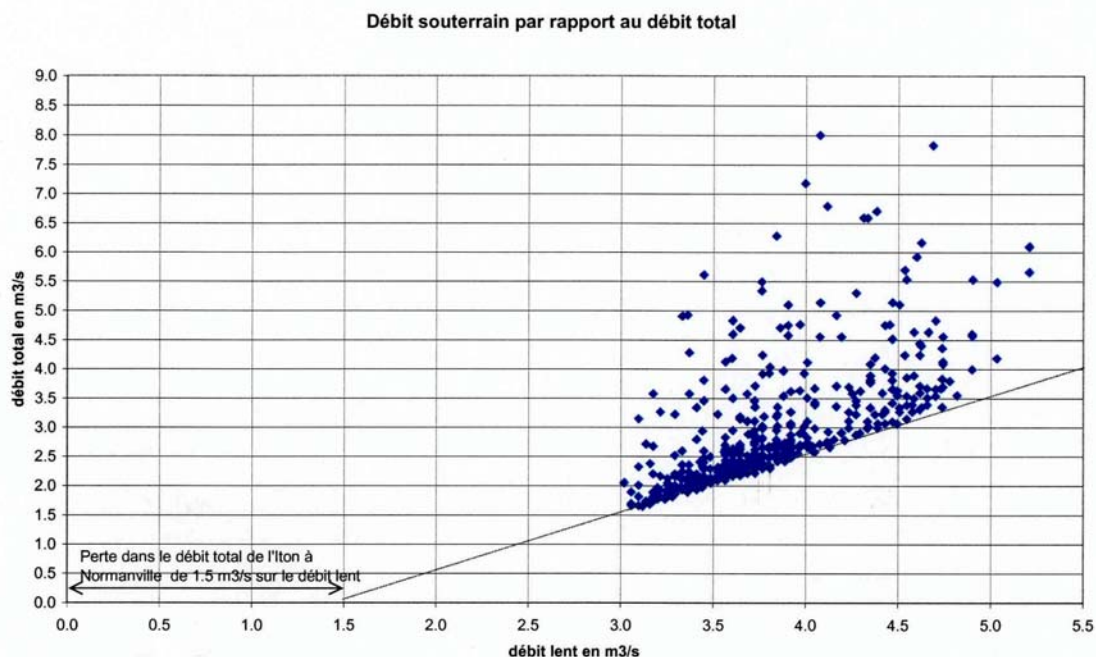


Fig. 36 - Part du débit souterrain lent dans le débit total de la rivière

La fig. 36 montre un débit minimum drainé de 3.1 m³/s, donnant lieu à un débit minimal d'un peu plus de 1 m³/s. Les débits en rivière jusqu'à 3 m³/s peuvent être entièrement alimentés par les seuls écoulements lents des eaux souterraines.

En cas de crue, la partie de ruissellement augmente, dans des cas exceptionnels jusqu'à 300 % par rapport aux apports des eaux souterraines.

La moyenne de l'alimentation des eaux souterraines reste avec 85 % très haute.

Eléments de discussion sur le calage Gardenia obtenu

L'Iton à Normanville se caractérise par l'importance de ces pertes en débit du cours d'eau en aval d'Evreux Huest, perte tant vers l'Iton en aval (débit de fuite sous alluviales) que vers l'Eure (écoulements poreux et fissural). Si ces divers débits de fuite ont pu être mesurés par le passé (rapports BRGM 70SGN041PNO et 80SGN715PNO), la représentativité de ces mesures comme valeur moyenne n'est pas assurée. On n'oubliera pas qu'il existe aussi en amont une dérivation vers l'Avre, évaluée de manière grossière entre 100 et 200 l/s, qui serait à préciser.

Il a donc été testé la sensibilité du calage à différentes valeurs de débits de fuite (fixé à une constante pour Gardenia) pour mieux cerner la représentativité du bilan hydrique quantitatif obtenu.

Si l'on impose un débit de fuites plus important, cela se traduit par une lame d'eau efficace (PEF) plus importante, et de fait une évapotranspiration réelle ETR et potentielle ETP plus petite (coefficient correctif négatif coefETP). De tels ajustements ne remettent pas en cause par exemple le stockage dans l'aquifère crayeux (difSTO) qui reste très proche d'un cas à l'autre (9 à 11 mm).

Qfuite								
LE (mm)	Debit (m3/s)	PEF	Qrap	Qsout	difSTO	ETR	CoefETP	r pond
0	0	114.4	18.3	88.1	9.11	505.1	13.4	0.791
-24	-0.8	139.3	20.9	109.4	9.53	480.8	8.34	0.813
-30	-1	145.6	21.3	115.0	9.67	474.6	6.08	0.817
-45	-1.5	162.0	24.5	127.6	10.22	458.0	-5.71	0.83
-60	-2	177.1	24.5	142.2	10.41	443.5	-4.11	0.836
-90	-3	207.5	32.9	163.5	11.09	413.1	-21.5	0.846

Tabl. 14 - Calages obtenus avec différentes valeurs de débits de fuite et optimisation du coefficient ETP

Ce tableau montre que l'on obtient des calages assez voisins avec des valeurs de débit de fuite variant entre 0 et 3 m³/s. La pluie efficace moyenne (écoulement rapide + écoulement souterrain) varie entre 114 mm pour Qfuite= 0 à 208 mm pour Qfuite=3 m³/s. Tandis que l'écoulement souterrain varie du simple au double, entre 88 et 164 mm. Pour équilibrer le bilan d'eau le logiciel optimise le coefficient correcteur de l'ETP entre + 13.4 % (fuite de 0 m³/s) et -22% (fuite de 3 m³/s).

Le choix des valeurs plausibles à retenir peut être orienté par des investigations complémentaires pour estimer :

- le débit de fuite après les données existantes sur le débit des sources karstiques en aval de la station de Normanville sur l'Iton et en bordure de l'Eure et pour le débit directement drainé par l'Eure,
- le coefficient correcteur de l'ETP en lui fixant des bornes plausibles compte tenu notamment de la variation de la température moyenne sur le bassin de l'Iton.

On notera dans tous les cas un calage plus mauvais en étiage dû probablement à des prélèvements supplémentaires (irrigation plus importante en période sèche) et surtout à un débit de fuite qui pourrait être moins fort en basses eaux (c'est une constante pour gardenia). Le calage des très hautes eaux est également difficile car le pas de temps (mensuel) n'est pas adapté à ce type d'événement.

c) Rapide comparaison des deux types de bilans

Les données utilisées ne sont pas tout à fait les mêmes :

- période 1973-2002 pour Gardenia contre 1973-1992 pour le bilan moyen global,
- les prélèvements sont concernés dans leur intégralité pour Gardénia et juste à hauteur de la part supposée évapotranspirée pour le bilan moyen global (ils restent négligeables dans tous les cas, par rapport au débit total de fuite).

Mais avec les deux méthodes différentes, les résultats du bilan restent particulièrement proches :

- bilan équilibré,
- précipitations efficaces de l'ordre de 160 mm,
- débit total de l'Iton à Normanville autour de 110-115 mm,
- RFU max voisine de 70 mm.

5.2.9. Bassin versant de la Morelle

Ce bassin versant désigne l'ensemble des bassins versants des cours d'eaux côtiers situés entre Touques et Risle, à cheval sur les départements du Calvados et de la Risle. A ce bassin, il a été donné le nom du principal cours d'eau, la Morelle (axe frontalier entre les deux régions normandes). Parmi les autres petits fleuves côtiers, on note coté Eure la Vilaine, et coté Calvados la Claire, l'Orange, le ruisseau de Pennedepie et celui de Villerville.

Les données utilisées pour le bilan sont :

- la station de Beuzeville pour la pluie,
- la station de Saint-Gatien-des-Bois pour l'ETP,
- les données de jaugeage ponctuelles existantes sur la Claire, l'Orange et surtout la Morelle en sortie,
- l'ancien piézomètre de Beuzeville en plateau.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1972-1976 (bornes incluses).

Il n'existe pas de station de jaugeage active sur le bassin versant de la Morelle. Le cours d'eau de la Morelle a fait l'objet dans le passé de mesures ponctuelles (BRGM, DIREN HNO) et d'un suivi continu sur 4 ans (DDE, CEE) à Fiquefleur-Equainville en 1965-1966 et 1972-1974. Les autres cours d'eau principaux (Claire, Orange et Vilaine) n'ont fait l'objet que d'une mesure ponctuelle (rapport BRGM 70SGN221PNO). Ces mesures ponctuelles indiquent néanmoins que tous les cours d'eaux ont sensiblement le même débit spécifique.

Les données sont insuffisantes (pluviométrie, débit, piézométrie), non synchrones, avec mesures souvent absentes pendant la période de référence, pour établir un bilan hydrique acceptable en conditions moyennes. Néanmoins, un bilan sera effectué pour apprécier dans quelle mesure les quelques données ponctuelles connues donnent en premier ordre de grandeur une cohérence ou une absence d'incohérence d'un tel bilan.

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à près de 0.4 millions m³/an.

L'usage de l'eau souterraine reste avant tout l'AEP mais on note aussi quelques petits usages industriels et quelques captages agricoles sur le bassin.

Le poids des prélèvements sont d'un point de vue quantitatif faible (1 %) : les pertes par prélèvements restent quasi-nulles avec 0.3 % du flux annuel efficace.

Le bilan obtenu, aussi sommaires que soient les données, est bien équilibré, avec un excédent qui ne dépasse pas 4 %.

On notera que la géologie et la géomorphologie du bassin versant (présence de l'Albien en pied de versant avec débordement de l'aquifère crayeux sous forme de sources) est en faveur de la présence de sources crayeuses masquées sous les alluvions (sources d'affluences sous alluviales). Lorsque l'on disposera sur ce bassin de données plus complètes, il sera vraisemblablement validé qu'un excédent dans le bilan serait vraisemblablement pour partie imputable à de telles affluences.

5.2.10. Bassin versant de l'Oison

Le bassin versant de l'Oison est un petit bassin versant situé dans le Roumois au Nord de la large plaine crayeuse du Neubourg : c'est l'une des rares vallées dans le secteur qui est parcourue par un cours d'eau pérenne (vallée humide).

Les sources amont de l'Oison sont des sources de débordements, liées à la présence à l'affleurement de terrains albiens peu perméables. Cette présence en surface de l'Albien s'explique par un axe de flexure E-W, avec cassure de la flexure sous forme de deux failles (Faille de Bourthéroulde, Wazi, 1988).

Les données utilisées pour le bilan sont :

- les stations de Canappeville et Routot pour la pluie,
- la station de Rouen Boos pour l'ETP,
- les données de jaugeage de Normanville en sortie,
- l'ancien piézomètre de la Saussaye en plateau.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1972-1979 (bornes incluses).

Il n'existe pas de station de jaugeage active sur l'Oison. Le cours d'eau a fait l'objet dans le passé de jaugeages réguliers effectués par le BRGM et la DIREN, notamment en aval du bassin à hauteur de Saint-Pierre-les-Elbeufs (95 mesures à rythme mensuel entre 1965 et 1977). D'après les renseignements oraux communiqués par T Leboulanger, le débit mesuré est le long de la vallée extrêmement variable et fluctuant (variation de plus de 50 % par endroits), avec passage du débit du lit de la rivière dans les alluvions par des pertes diffuses puis résurgence tout aussi diffuses plus à l'aval (autocapture du débit par l'Oison).

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à près de 0.1 millions m³/an. Seuls des captages pour l'AEP ont été identifiés.

Le poids des prélèvements est d'un point de vue quantitatif modéré (5 %) : les pertes par prélèvements restent faibles avec 1.6 % du flux annuel efficace.

Le bilan est fortement déséquilibré en %, avec 66 % d'excédent. Cet excédent ne représente que 0.13 m³/s.

Parmi les hypothèses les plus vraisemblables qui expliquent ce décalage, on peut noter :

- un fort débit de fuite sous alluvial, qui pourrait être favorisé par la présence des terrasses alluviales anciennes de la Seine à l'aval,
- un bassin versant dont la géométrie exacte peut être influencée par le jeu des différents compartiments aquifères dans un couloir de failles, pouvant autoriser un débit d'effluence vers les bassins versants voisins,
- la rivière est sur une bonne partie de son cours (au moins en partie médiane) canalisée sous forme de bief perché, alimentant différents moulins à eau. Il reste possible qu'il en soit de même en aval à hauteur de la station de jaugeage de Saint-Pierre-Les-Elbeufs. Pendant les débordements phréatiques de 2001, les inondations ont eu lieu en fond de talweg et non à hauteur du bief.

5.2.11. Bassin versant de la Risle amont

Avant la confluence de son principal affluent, la Charentonne, le bassin versant de la Risle amont est entièrement implanté dans les terrains crayeux. Il existe de nombreux reliquats tertiaires disséminés sous forme de poches dans les formations superficielles, qui donnent des faciès plus sableux aux formations résiduelles à silex.

En aval de Rugles, le cours d'eau de la Risle se trouve en temps normal en position perchée. A la faveur de pertes souvent bien localisées en fond de rivière, son débit diminue fortement, au lieu d'augmenter. Les eaux, qui s'engouffrent dans ces pertes, ressortent nettement plus en aval sous forme d'émergences de fort débit à Beaumont-le-Roger (nombreuses expériences de traçages positifs), où la rivière se reconnecte à l'aquifère de la craie et le draine ensuite jusqu'à l'embouchure de la Risle.

Les données utilisées pour le bilan sont :

- la station de Couvains (61) pour la pluie,
- les stations de couvains et Evreux Huest pour l'ETP,
- les données de jaugeage de Beaumontel en sortie,
- Les piézomètres de Goupillières et de Bois-Arnault en plateau.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1974-1998 (bornes incluses).

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à près de 4.8 millions m³/an.

On retrouve classiquement pour les usages de l'eau, par ordre décroissant des volumes prélevés, l'AEP, l'AEI, puis l'irrigation agricole.

Le poids des prélèvements est d'un point de vue quantitatif modéré (3 %) ; les pertes par prélèvements restent très faibles avec 0.9 % du flux annuel efficace.

Le bilan obtenu est plutôt excédentaire avec 11 % d'excédent mais on reste en deçà des marges d'incertitudes et d'erreurs.

La valeur de précipitations efficaces moyennes calculée est supérieure en effet de 10% environ de la lame d'eau équivalente au débit moyen de la rivière.

Ce décalage pourrait venir a priori principalement de la représentativité :

- soit des données climatiques (P, ETP sur les stations prises),
- soit des données de débit en sortie (débits de fuites sous alluviales non comptabilisées...).

5.2.12. Bassin versant de la Risle aval

Après la confluence de son principal affluent, la Charentonne, le bassin versant de la Risle aval est presque entièrement implanté dans les terrains crayeux.

A l'embouchure aval, la Risle a en effet entaillé le substratum géologique au-delà de la base de la craie, jusque dans les sables verts albo-aptiens. Ces derniers sont, par la rivière et les alluvions, en connexion/relais avec l'aquifère crayeux des versants (craie glauconieuse résiduelle). De plus, le comportement hydrogéologique dans la zone est compliqué par les fluctuations de marée, qui peuvent remonter jusqu'à Pont-Audemer.

Ce grand bassin versant est de plus caractérisé par le passage en son milieu d'une discontinuité majeure : la faille W-E de Corneilles à Pont-Authou en rive gauche, qui se poursuit en rive gauche par la double faille W-E de Bourghéroulde.

En aval de cette discontinuité majeure, ce sont essentiellement les terrains cénomaniens qui vont être aquifères.

Les données utilisées pour le bilan sont :

- la station de Brionne (61) pour la pluie,
- les stations de Saint-Gatien-des-Bois (14) et d'Evreux Huest pour l'ETP,
- les données de jaugeage de Pont Authou en sortie,
- les piézomètres de Gros-Theil, Lieurey, Saint-Maclou et Fourmetot en plateau (2 par rive et 2 de part et d'autre des failles de Corneilles-Pont Authou et de Bourghéroulde) ainsi que Fontaine-La-Soret en vallée humide.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1973-1999 (bornes incluses).

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à près de 7.8 millions m³/an, dont 6.3 millions m³/an à hauteur de la station de Brionne. L'AEP reste comme d'habitude le principal usage, suivi de l'AEI. On ne recense qu'un captage pour l'irrigation agricole et de faible volume de prélèvement.

Le poids des prélèvements est d'un point de vue quantitatif modéré (4 %) : les pertes par prélèvement restent faibles mais non négligeables avec 2.4 % du flux annuel efficace.

Le bilan obtenu est fortement équilibré, avec juste un léger déficit de 2%, bien en deçà des marges d'incertitudes et d'erreurs.

a) Bilan par Gardenia

Le bilan Gardenia du bassin versant a été effectué à hauteur du même point de jaugeage de Pont Authou.

Les débits dans le bassin Risle aval intègrent le bassin versant de la Charentonne et celui de la Risle amont.

Hypothèses et données

La surface du bassin versant jusqu'à la station hydrométrique de Pont Authou est de 1690 km².

L'examen de la carte hydrogéologique montre la présence en amont de Pont Authou de sources à forts débits ainsi que de nombreuses circulations rapides karstiques, avérées par traçages positifs, et localisées :

- dans la vallée de la Charentonne autour de Bernay (400 l/s),
- autour de Beaumont-le-Roger (450 l/s) et
- dans la petite vallée du Bec Hellouin en amont de l'Abbaye du même nom.

Mais les traçages et l'alimentation des sources à forts débits restent internes au bassin versant. Il n'existe pas d'échanges connus entre le bassin versant de la Risle et les bassins versants voisins.

La zone amont de Pont Authou intègre des intensités de pluies distinctes. Une première comparaison entre les 3 stations pluviométriques choisies : Menneval, Breteuil et Routot permettent d'apprécier cette différence :

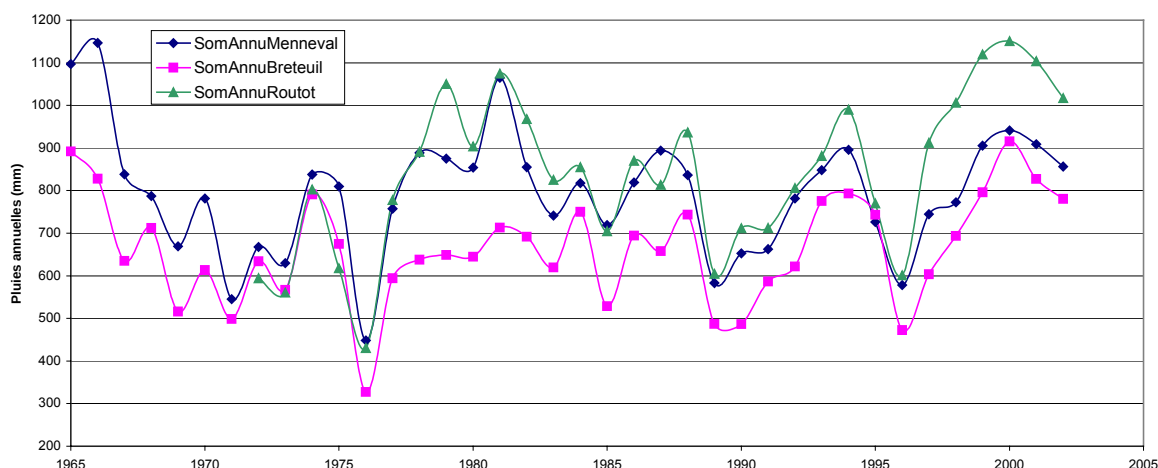


Fig. 37 - Comparaison de trois stations pluviométrique situées sur le bassin versant de la Risle

La moyenne des trois stations donne une pluviométrie annuelle moyenne de 779 mm (contre 764 mm si on utilise les 8 stations météorologiques les plus proches).

Une analyse de l'hétérogénéité des pluies annuelles a été faite entre la moyenne des trois stations et Evreux. Cette analyse montre une dérive dans la mesure avant juillet 1978 : un coefficient de correction de 1.2 a été appliqué pour la moyenne des trois pluies.

Les simulations pluie-débit semblent indiquer par contre que la pluie de poste Menneval est plus représentative de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant qu'un cumul de 3 pluies dans le bassin. Au sud du bassin, un coefficient négatif de -6 % doit être appliqué pour un bon calage car les pluies sont sensiblement plus faibles dans cette zone (760 mm).

Nous avons utilisé les données de l'ETP de la station d'Evreux-Huest.

La station de jaugeage à Pont-Authou se trouve à 30 km de la confluence vers la Seine. Elle contrôle le bassin versant topographique 1690 km² sur environ 2300 km² pour le bassin à sa confluence avec la Seine. La chronique n'est pas complète, avec trois périodes d'arrêt (11 ans d'interruption cumulée).

Les débits moyens mensuels montrent une variation forte de 6.3 à 20.8 m³/s. Il semble apparaître une bonne corrélation entre les débits mensuels du Risle à Pont Authou et le niveau piézométrique en plateau à hauteur du point de Lieurey (point situé a priori sur un conduit karstique)

Un autre piézomètre du bassin versant a été utilisé pour le bilan : il s'agit d'un point en limite de bassin versant superficiel : le piézomètre de Graveron Semerville.

Les prélèvements moyens annuels en amont de la station de jaugeage de Pont-Authou atteignent 0.5 m³/s.

Résultats des simulations avec Gardenia

Les figures suivantes donnent sur les périodes de calage les graphiques des simulations retenues.

Chaque figure présente les valeurs mesurées (trait plein en rouge), les valeurs simulées (pointillé vert) et la décomposition en écoulement rapide, à savoir ruissellement et écoulement souterrain karstique et écoulement lent souterrain (pointillé bleu).

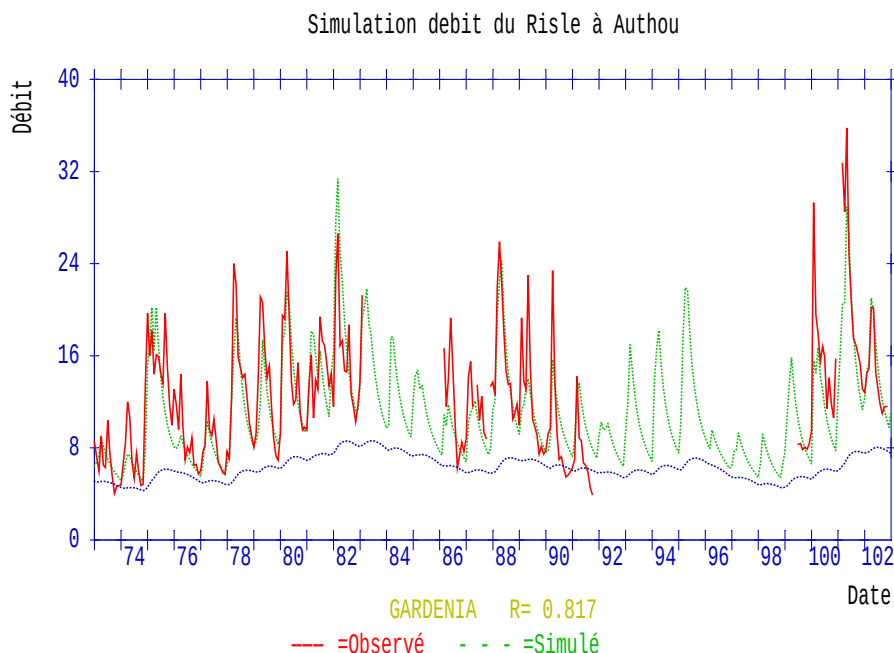


Fig. 38 - Simulation pluie – débit du Risle à Pont-Authou

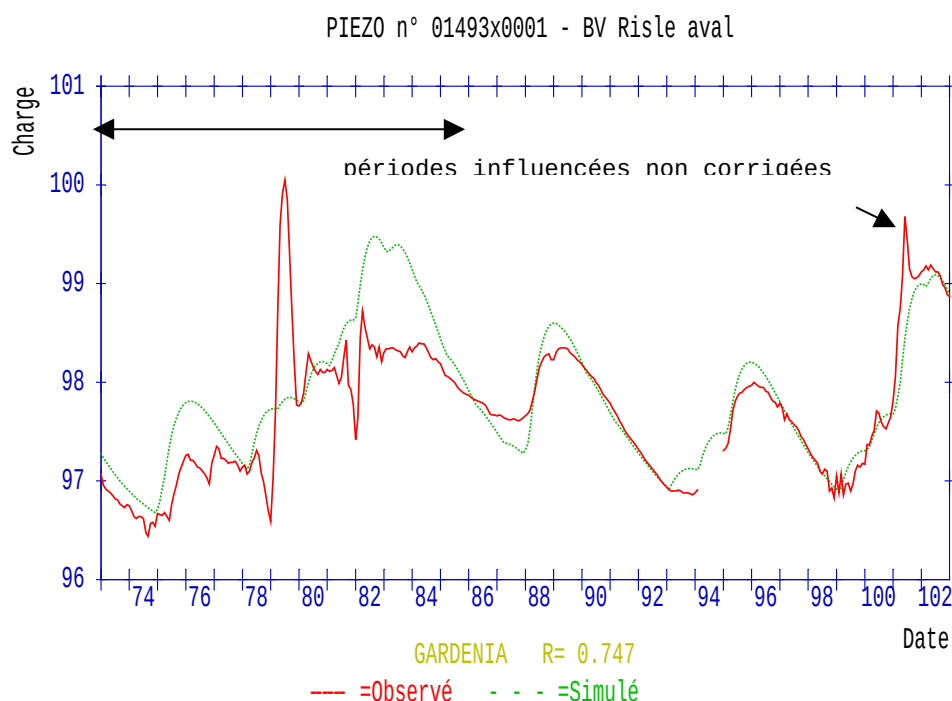


Fig. 39 - Simulation pluie – niveau du piézomètre 01493X0001

Le tableau suivant récapitule sur la même période 1973 à 2002, les termes du bilan des calages pluie-débit et pluie-piézométrie :

Bassin Versant/ Cours d'eau	Station Hydro- métrique/ Piézomètre	Pluie	ETP réelle	Pluie efficace		Ecoulem ent rapide QRAP		Ecoulement lent Qlent		Variation de stock dSTO		Ecoulement calculé de la rivière		(Qlent+ dSTO) /PEF	Débit de fuite	
		mm	mm	mm	m3/s	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	m3/s	%	mm	m3/s
Risle	Pont-Authou	790	562	228	12.24	93	41	129	57	7	3	211	11.31	60	-11	-0.6
BV Risle aval	Piezo 1493	740	646	91.4	3.05	23	25	63	69	8	9			77.7		

**Tabl. 15 - Résultats des calages GARDENIA
sur le bassin versant de la Risle aval à Pont-Authou**

La pluie est moins importante vers le sud du bassin. Le bassin a une moyenne de 790 mm et le piézomètre une valeur de 740 mm. L'ETP est plus important pour le piézomètre par sa valeur ponctuelle de RUMAX plus important.

On obtient un taux d'écoulement lent de 60 % pour le modèle global pluie-débit et de 77.7 % pour le modèle pluie-niveau. Cette valeur relativement basse peut être expliquée à titre d'hypothèse par la présence de grandes surfaces peu infiltrantes au sud du bassin.

La variation du stock est également positive pour le bassin du Risle avec 7 et 8 mm.

Ce bilan hydrique quantitatif sous Gardenia est sur la fig. 40 suivante :

- en bleu les entrées d'eaux du système du bassin versant,
- et en rouge les sorties d'eaux du système du bassin versant.

Les flux efficaces se répartissent en 57 % d'écoulements lents souterrains contre 41 % d'écoulements rapides (ruissellements assez importants et écoulements fissurés/karstiques).

Les prélèvements importants dans ce bassin versant peuvent en grande partie revenir dans le système par infiltration, une moindre partie a priori étant perdue par évapotranspiration.

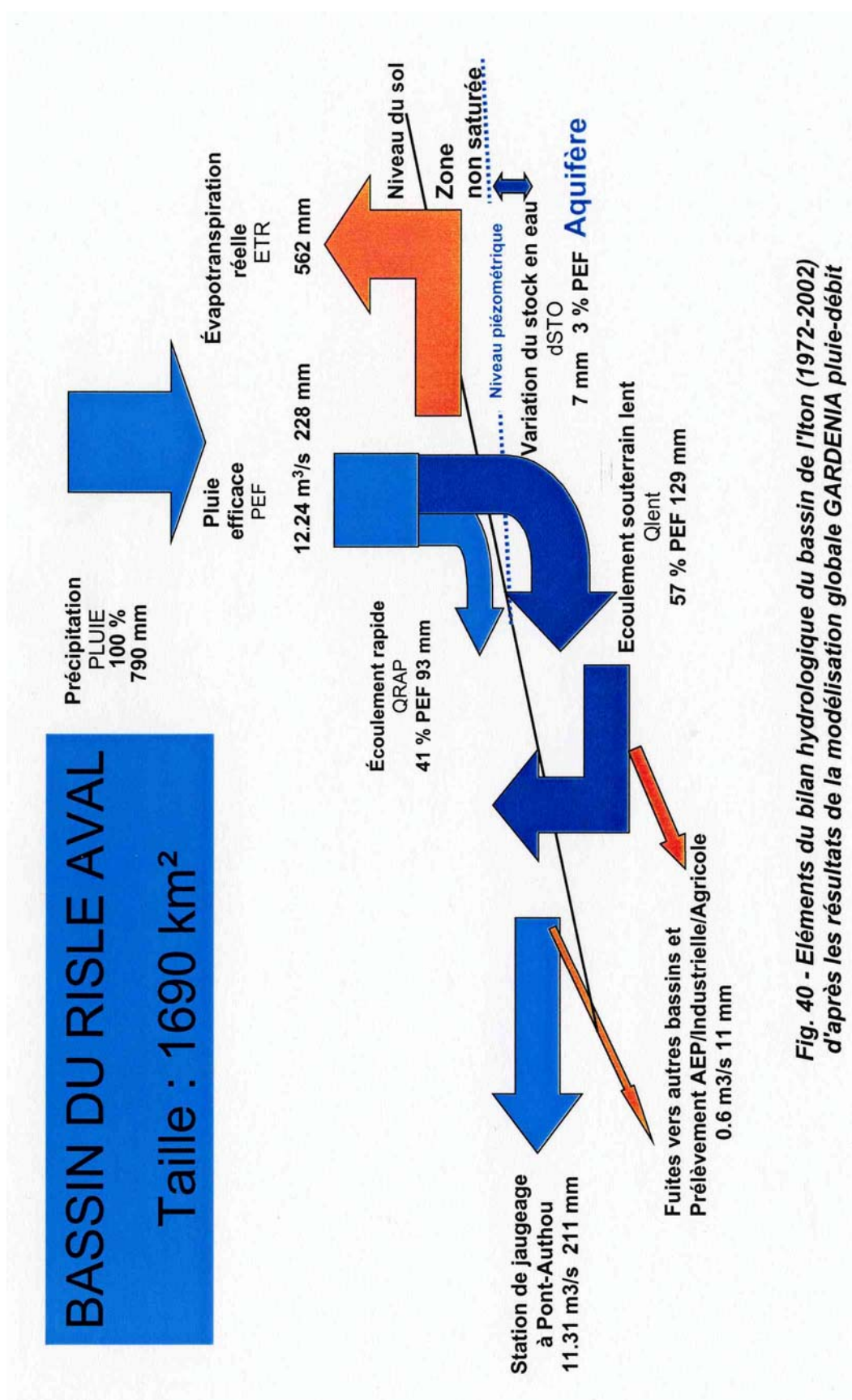


Fig. 40 - Eléments du bilan hydrologique du bassin de l'Itton (1972-2002) d'après les résultats de la modélisation globale GARDENIA pluie-débit

Le tableau suivant récapitule les autres résultats des calages pluie-débit et pluie-piézométrie :

Bassin Versant/ Cours d'eau	Station Hydrométrique Piézomètre	Surf. du bassin versant km ²	Débit extérieur m ³ /s	Coef. Emmagasinement globale %	Coefficient d'ajustement nat.	Coef. Pluie %	Coef. ETP %	RUMAX mm	RUIPER mm	THG mois	TG mois	Diff. Stockage mm	Période de Calage
Risle	Pont-Authou	1690	-0.6		0.82	0	18.9	90	250	9.5	16.8	6.6	1973-2002
BV Risle aval	Piézomètre Graveron Semerville			4	0.75	-6.3	2.8	239.3	485	16	7	8	1985-2002

Tabl. 16 - Paramètres hydrologiques des calages Gardenia sur le bassin versant de la Risle

Le piézomètre de Lieurey est trop influencé pour un calage réaliste et cohérent avec les valeurs du modèle pluie-débit (piézomètre non représentatif de l'ensemble du bassin).

Le piézomètre de Saint Maclou réagit de la même manière que le piézomètre de Graveron-Semerville et n'a pas été calé.

Le temps de demi-tarissement du réservoir rapide est d'environ 10 mois.

Le temps de demi-tarissement du réservoir lent est d'environ 17 mois, ce qui témoigne de la forte inertie et capacité de stockage de l'aquifère crayeux.

Une correction importante de 18.9 % pour le modèle pluie-débit et de 2.8 % pour le modèle pluie-niveau a été appliquée pour l'ETP. Soit la mesure d'ETP est trop basse par rapport à la moyenne du bassin, soit le RUMAX n'est pas assez important. Globalement, l'ajustement du débit est difficile (82 % de coefficient d'ajustement). Le débit est influencé par des composantes non connues.

Le RUMAX varie beaucoup par rapport à la couverture du sol au point mesuré. Le modèle global pluie-débit retient un RUMAX moyen pour le bassin de 90 mm. Le piézomètre présente une valeur ponctuelle plus importante de 239 mm.

Discussion

Le calage pluie-débit obtenu sur la Risle aval n'offre pas a priori la même fiabilité que sur les 2 autres bassins versants de l'Iton et de l'Epte. Les données utilisées ne semblent pas offrir la même représentativité que sur l'Iton ou l'Epte :

- malgré une variabilité non négligeable de la pluviométrie sur le bassin versant, la station de Menneval apparaît plus représentative que la moyenne de trois stations de Menneval, Routot et Breteuil,
- les écoulements lents et rapides se discriminent moins bien que sur les deux autres bassins versants de l'Iton et de l'Epte : le temps de demi-tarissement de l'écoulement rapide n'est que 2 fois plus faible que celui de l'écoulement lent et leurs parts respectives ont presque le même poids dans le bilan (41% et 57 %),
- les données du débit ne sont pas continues et s'interrompent pendant deux longues périodes. Les années existantes semblent très influencées par des

éléments inconnus ou erronés (dérive de la courbe de tarage ?) et le calage devrait être à l'avenir améliorés avec de nouvelles données,

- les piézomètres sur la Risle aval sont peu exploitables sous Gardenia, car généralement trop réactifs (Lieurey, Fontaine La Sorêt) ou trop inertes (Gros Theil, Goupillières).

On notera comme pour les 2 autres bassins versants que le calage est plus mauvais en étiage. Ceci est dû probablement à des prélèvements supplémentaires (irrigation plus importante en période sèche) et surtout à un débit de fuite qui pourrait être moins fort en basses eaux (c'est une constante pour Gardenia). Le calage des très hautes eaux est également difficile car le pas de temps (mensuel) n'est pas adapté à ce type d'événement.

b) Rapide comparaison des deux types de bilans

Les données utilisées ne sont pas tout à fait les mêmes :

- période 1973-2002 pour Gardenia (avec stockage) contre 1973-1999 pour le bilan moyen global (sans stockage ni déstockage de l'aquifère crayeux),
- il a été utilisé les données de pluies de Saint-Germain-La-Campagne (Charentonne), Couvains (Risle amont) et de Brionne (Risle aval) pour le bilan moyen global contre seulement la station de Menneval pour Gardenia,
- il a été utilisé les données d'ETP d'Evreux-Huest (Risle amont), de Couvains (Charentonne, Risle amont, Risle aval) et Saint-Gatien-des-Bois (Risle aval) pour le bilan moyen global contre seulement la station d'Evreux Huest pour Gardenia,
- les prélèvements sont concernés dans leur intégralité pour Gardenia (0.5 m³/s) et juste à hauteur de la part supposée évapotranspirée pour le bilan moyen (0.11 m³/s).

Avec les deux méthodes différentes, les résultats du bilan sont assez proches :

- bilan équilibré pour Gardenia et léger déficit pour le bilan moyen global (si l'on considère que les prélèvements ne sont pas intégralement perdus pour le bilan, on arriverait à un léger excédent pour Gardenia),
- précipitations efficaces de l'ordre de 230 mm pour Gardenia et 220 mm pour le bilan moyen global,
- RFU max de 90 mm pour Gardenia pour le bilan moyen global.

5.2.13. Bassin versant de la Seine Gambon

Le bassin versant de la Seine Gambon correspond au territoire drainé par la Seine entre la confluence des bassins versants de l'Epte et de l'Andelle. Un autre affluent en rive droite, le Gambon (ou Cambon selon les écrits) rejoint la Seine à hauteur des Andelys au milieu de ce territoire.

Si les terrains en rive droite (Vexin normand) sont presque essentiellement crayeux, à quelques buttes résiduelles cénozoïques près, la rive gauche est constituée par la moitié est du plateau de Madrie, où la craie est surmontée par des terrains cénozoïques. Ces dépôts paléogènes sont le siège d'une première nappe perchée entre les argiles du Sparnacien (Yprésien inférieur) et les argiles du Sannoisien (Stampien inférieur) et d'une seconde nappe perchée au-dessus des argiles sannoisiennes, nappe supérieure résiduelle. Celle-ci est localisée seulement dans la partie sud est du plateau.

L'équilibre du bilan sur ce bassin versant ne peut être vérifié, faute principalement de mesures du débit complet sur la Seine en sortie.

Il existe avant la confluence de l'Epte une station de jaugeage à Poissy à partir de laquelle il serait possible d'estimer un débit d'entrée.

Par contre, s'il existe bien une station de jaugeage à l'aval du bassin versant, la mesure du débit en sortie se fait à hauteur du barrage de Poses, qui ne mesure pas la totalité du débit car :

- une partie du débit court-circuite en surface le barrage par un by-pass et via également le plan d'eau de la base de loisirs de Poses,
- une partie du débit s'écoule également en souterrain au sein des alluvions de la plaine alluviale de Poses,
- 10 à 15 % environ du débit échappe ainsi à la station de Poses.

Il sera néanmoins effectué un bilan théorique des apports.

Les données utilisées pour ce bilan théorique sont :

- la station des Andelys pour la pluie,
- les stations de Rouen Boos et Evreux Huest pour l'ETP,
- les données de jaugeage de Poissy, Rouen et Poses,
- les piézomètres de Port-Mort, Corny, et Daubeuf-serville en plateau, du Vaudreuil en vallée.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1972-1999 (bornes incluses).

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à près de 10.5 millions m³/an. On retrouve classiquement pour les usages de l'eau, par ordre décroissant des volumes prélevés, l'AEP, l'AEI, puis l'irrigation agricole.

Le poids des prélèvements est d'un point de vue quantitatif modéré (3 %) ; les pertes par prélèvements restent très faibles avec 1.2 % du flux annuel efficace.

Le bilan obtenu indique un accroissement du débit de la Seine de 4 m³/s entre Vernon et Poses, ce qui ne représente moins de 1% d'accroissement du débit. Si on intègre la

confluence de l'Epte, cela représente 14 m³/s de plus entre Port-Villez et Poses, soit 3 % du débit en plus.

Si l'on considère le débit moyen de la Seine de 510 m³/s à Poissy et celui de 540 m³/s à Rouen, il reste possible de faire un bilan entre les deux stations de jaugeage. L'essentiel des apports de débit à la Seine est fait par ses principaux affluents déjà étudiés (Eure, Andelle, Epte), le restant directement drainé par la Seine (ou ses petits affluents) ne représente que 17 % de l'ensemble de la surface drainée entre les deux stations de jaugeage.

Ces trois affluents principaux contribuent pour près de 45 m³/s. On peut estimer, en première approche, à une valeur majorée de 2m³/s les pertes par prélèvements.

Le bilan global grossier entre ces deux stations conclut à un bon équilibre, avec un petit excédent de 4 %. Ce "petit" excédent de 4 % représente néanmoins 23 m³/s.

Ces excédents en décalage peuvent s'expliquer par :

- des débits de fuites alluviaux importants (graves de fond notamment) qui sont d'autant plus difficiles à estimer à Rouen, où les effets de la marée perturbent la bonne estimation du débit moyen. Le débit réel sur Rouen de la Seine pourrait être un peu plus fort (> 540 m³/s),
- une lame d'eau efficace réelle, moindre que celle calculée à partir des précipitations efficaces sur le bassin de la Seine Gambon,
- un impact plus important des prélèvements (volume prélevé plus important que celui approximativement évalué).

5.2.14. Bassin versant de la Seine aval

Le bassin versant de la Seine aval correspond au territoire drainé par la Seine entre la confluence de l'Eure et celle de la Risle, dernier gros affluent important de la Seine. Les affluents principaux sont exclus de cette surface considérée (Oison, Robec, Cailly, Austeberthe, Rançon, Commerce). Ce bassin versant est presque entièrement implanté en domaine crayeux. Il intègre notamment les grandes boucles de la Seine, dont la fameuse zone du Marais Vernier.

Le bassin versant s'étend principalement en rive gauche dans le département de l'Eure, mais déborde sur le département voisin de la Seine-Maritime.

L'équilibre du bilan sur ce bassin versant ne peut être vérifié, faute principalement de stations de mesures du débit sur la Seine sur cette section du fleuve. En aval de Poses, une petite quinzaine de marégraphes enregistre la hauteur d'eau du cours d'eau mais compte tenu du flux et du reflux de la marée (phénomène variable, irrégulier, sensible au vent,...), il ne peut en être déduit directement le débit moyen du fleuve.

On ne dispose ainsi pas d'une chronique de débit du fleuve en aval de la station de Poses (autrefois en aval de Rouen où les effets de marée étaient moins forts).

Il sera néanmoins effectué un bilan théorique des apports, afin d'évaluer la valeur du débit moyen de la Seine à l'embouchure.

Les données utilisées pour ce bilan théorique sont :

- les stations de Jumièges et Routot pour la pluie,
- la station de Rouen Boos pour l'ETP,
- les piézomètres de Bois d'Ennebourg, La Vaupalière, Jumièges, Fourmetot en plateau.

La période de référence pour l'établissement d'un bilan moyen a été prise sur la période 1972-1998 (bornes incluses).

Les prélèvements sur le bassin versant sont estimés à près de 71 millions m³/an dont une partie provient de prises d'eau en surface sur la Seine.

C'est le bassin versant où les prélèvements sont les plus importants, tant du fait de la population nombreuse (besoins AEP élevées pour Rouen, Elbeuf...) que des activités industrielles importantes de la vallée (Rouen, Port Jérôme...). La quasi-totalité des prélèvements importants est située sur le territoire de la Seine-Maritime du bassin versant.

Le poids des prélèvements est, d'un point de vue quantitatif très important (26 % de la ressource souterraine moyenne) : les pertes par prélèvements restent encore importantes, avec 4.7 % du flux annuel efficace.

Le bilan obtenu indique un accroissement du débit de la Seine de 8 m³/s entre Elbeuf et Tancarville, ce qui ne représente grossièrement 1.5 % d'accroissement du débit total.

Si l'on considère le débit moyen de la Seine de 510 m³/s à Poissy, on peut estimer le débit complet du fleuve à hauteur de son embouchure, comme suit :

Surface drainée	Débit en m ³ /s	Remarques
BV Seine amont à Poissy	510	données DIREN
BV Seine de Poissy à Rouen	10.1	calcul BRGM
BV Epte	9.8	calcul BRGM
BV Andelle	7.2	calcul BRGM
BV Eure	27	calcul BRGM
BV Seine de Rouen à Tancarville	7	calcul BRGM
BV Oison	0.3	calcul BRGM
BV Robec-Aubette	1	données DIREN
BV Cailly	3	données DIREN
BV Austreberthe	1.9	données DIREN
BV Rançon	2.8	données DIREN
BV Ambion Sainte Gertrude	1.3	données DIREN
BV Commerce	0.9	données DIREN
BV Theluet-Oudalle-Lezarde	1.4	données DIREN
BV Risle	15.2	calcul BRGM
BV Morelle	1.6	calcul BRGM
Total débit Seine à l'embouchure (estimation)	600.5	

Tabl. 17 - Estimation du débit total moyen de la Seine

Le débit estimé à l'embouchure du Havre est d'environ 600 m³/s, soit 10 % supérieur à celui mesuré à Rouen.

Dans le fascicule n°2 du programme scientifique Seine Aval (P. Le Hir et R Silva Jacinto, 2001), il était considéré par défaut que le débit de la Seine à l'embouchure était 10 % supérieur à celui de la Seine à Poses (considérant que la mesure à Poses était bien représentative du débit complet de la Seine), au prorata des surfaces des bassins versants respectifs. Partant d'un débit de 418 m³/s à Poses, il en déduisait un débit moyen de 460 m³/s.

Avec un débit moyen à Pose réévalué à 530 m³/s, le débit moyen à l'embouchure est 13 % supérieur à celui du débit à Poses, soit 30 % de plus que la valeur annoncée dans le fascicule Seine aval n°2. La craie assure à l'aval des apports un peu plus forts à la Seine qu'en amont du bassin de la Seine avant l'entrée en Haute Normandie, sans que l'on dispose de connaissances très sérieuses sur cet apport latéral.

6. Perspectives sur les bilans

6.1. PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Les précipitations moyennes varient de manière significative sur le département, avec un maximum au Nord-Ouest (1000 mm sur les 30 dernières années) et un minimum au Sud-Est (600 mm).

Avec les hypothèses prises spécifiquement sur chacun des bassins versants, la pluie efficace exprimée en lame d'eau varierait d'une valeur de recharge moyenne de 130 mm (Avre) à une valeur de recharge forte de 323 mm (Calonne). En moyenne, les précipitations efficaces sont abondantes (205 mm), deux fois plus fortes qu'en Ile-de-France (100 mm seulement) mais plus basses que pour la Seine-Maritime (350 mm d'après F Hanot, 1998).

Cette dernière valeur de 350 mm a été calculée sur la base des 10 dernières années (1998-1997) qui restent plus arrosées de 5 à plus de 10 % que sur la période 1972-2002). On peut estimer en première approche que les précipitations efficaces sont 10 à 20 % fois plus faibles sur une période élargie à 1972-2002, soit environ 300 mm de précipitations efficaces sur la Seine-Maritime plus que 350 mm.

De plus, les précipitations se manifestent généralement sous forme de pluies fines qui s'infiltrent en très grande partie, ceci favorisé par l'absence d'imperméabilité réelle des formations superficielles recouvrant le substratum crayeux, ce qui permet une bonne alimentation de la nappe en profondeur. Au vu des données sur la période 1972-2002, **l'aquifère crayeux bénéficie donc d'une recharge qui ne pose pas de problème quantitatif majeur en temps normal pour les besoins actuels.** En période plus sèche, le sud et le sud-est du département, qui restent en moyenne les moins arrosés, sont a priori les plus sensibles à un étiage marqué (bassins versants de l'Avre, de l'Iton et de l'Eure). C'est justement là que l'irrigation agricole a un poids non nul, bien que restant modeste.

L'importance des volumes prélevés par rapport au renouvellement moyen de la ressource est en moyenne conséquente (10 %), mais cette exploitation de la ressource est principalement concentrée sur 5 bassins versants, l'Avre (aval avec 28 %) et la Seine aval (26 %), et dans une moindre mesure l'Andelle (aval 12 %), l'Eure aval (12 %) et la Seine Gambon (10 %). Ailleurs, l'aquifère crayeux est nettement moins sollicité.

Mais compte tenu qu'une bonne partie des prélèvements est, après usage et évapotranspiration partielle, renvoyée dans le milieu, l'impact réel des prélèvements d'un point de vue quantitatif de la ressource (fig. 41) reste faible (3.5 % du renouvellement moyen).

Seul le bassin de l'Avre reste, du fait du fort prélèvement AEP pour la ville de Paris, très sollicité sur la ressource (13 %).

Les impacts significatifs restent ailleurs limités. Ils concernent d'abord le département de la Seine-Maritime (agglomérations de Rouen et d'Elbeuf) et sinon certaines villes et/ou zones d'industrie du département (Le-Vaudreuil, puis Vernon, Gaillon, Evreux, les Andelys et Alizay).

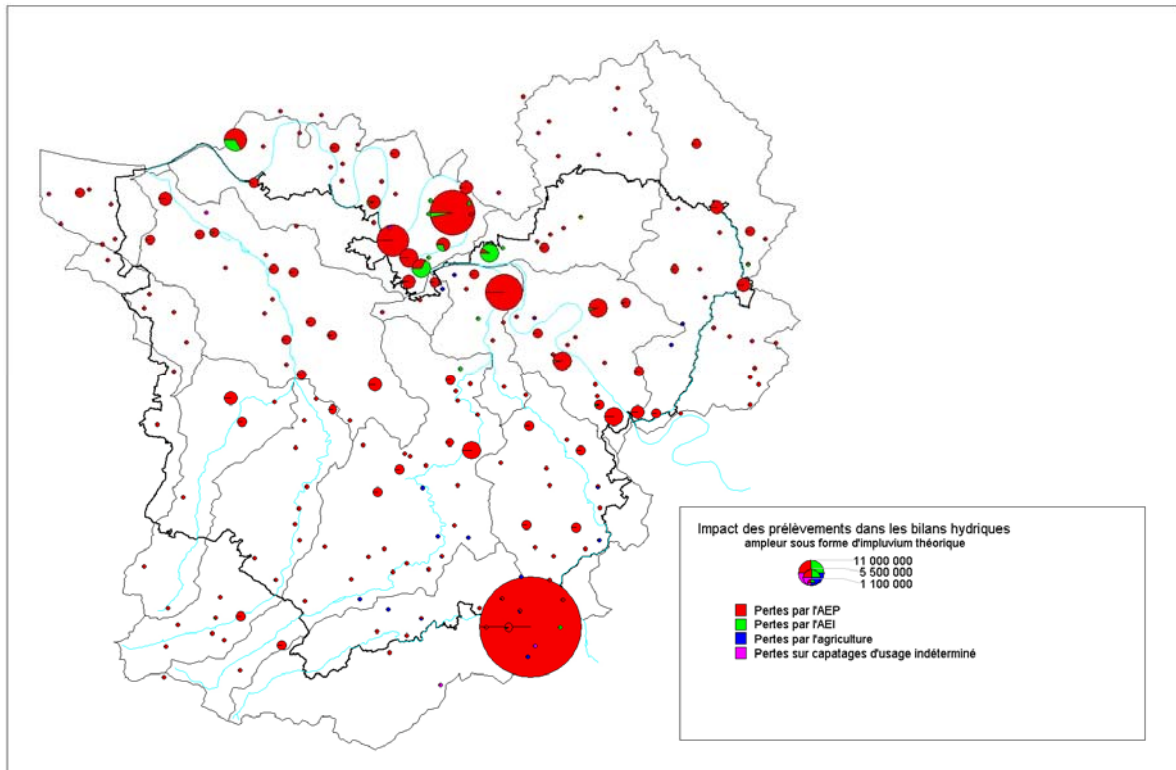


Fig. 41 - Impact des prélèvements dans les bilans hydriques quantitatifs, représentés par leurs impluvium théoriques

C'est l'usage en eau potable (AEP) qui reste d'un point de vue quantitatif le principal consommateur avec 83 % des prélèvements (53 % en terme de volumes captés), suivi de l'usage industriel AEI avec 8.7% (et 42.4 % des volumes). Enfin, l'irrigation agricole déclarée atteinte 8.3 % (4 % des volumes prélevés).

Ramenés à l'échelle du seul département de l'Eure, les prélèvements agricoles déclarés arrivent même en seconde position devant les prélèvements industriels (les volumes captés par l'industrie restant par contre beaucoup plus importants que ceux pour l'irrigation agricole).

Les fluctuations de la nappe ne sont connues qu'à niveau des piézomètres et non à l'échelle globale d'un bassin versant : le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère n'est connu que de manière ponctuelle, entre 0.02 % et 6 %.

A l'échelle globale des bassins versants, l'aquifère de la craie montre une inertie importante indiquée par les valeurs fortes des temps de demi-tarissement (déterminés par Gardenia) qui atteignent pour la part d'écoulement rapide de 3 mois à 10 mois, et pour la part d'écoulement lent de 1.5 ans à plus de 3.5 ans.

Les débits des rivières de la craie sont largement influencés par les eaux souterraines, alimentées en moyenne entre 60 % à plus de 93 % par l'eau souterraine, ce qui contribue à leur forte régularité de régime.

La situation reste assez contrastée d'un bassin versant à l'autre sur le département :

- les bassins versants du N et du NW ont une recharge importante et une exploitation modérée de la ressource,
- les bassins du S et surtout du SE ont une recharge jusqu'à 2 fois moindre que dans le N à NW et une ressource bien déjà sollicitée, surtout pour l'Avre,
- les débits de fuite ou d'échange y sont plus fréquents, avec en exergue l'Iton. Les amonts des rivières du Pays d'Ouche sont de plus déconnectés de l'aquifère.

Si nécessaire, il reste a priori possible d'améliorer ces bilans sur les bassins versants, tant pour l'équilibre, la cohérence et la bonne représentativité, en focalisation mais dans ce cas, une acquisition de données adaptées (bibliographie et ou mesures in situ) serait à envisager.

6.2. RECOMMANDATIONS

Les bilans hydriques obtenus ont une marge d'incertitude significative (au minimum 10 à 20 %), compte tenu de la représentativité des données à l'origine du bilan.

La poursuite des bilans pourrait se faire sur l'ensemble des stations de jaugeage (pas que sur la station de jaugeage la plus à aval) et être plus détaillée (approche type Gardenia) sur certains bassins versants, comme l'Andelle, l'Eure, l'Avre, où les données apparaissent a priori suffisantes.

Le problème principal dans l'élaboration de ces bilans reste avant tout la qualité des données et de leur représentativité. Tout ce qui peut contribuer à améliorer les données hydrologiques contribue à améliorer la connaissance des bilans hydriques et le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère crayeux. Parmi les mesures non exhaustives permettant d'arriver à ce résultat, on peut citer :

- disposer pour l'ensemble des données nécessaires à l'élaboration d'un bilan de mesures synchrones, surtout sur les bassins versants peu ou pas couverts (piézométrie, débit,) ;
- acquérir des données pour faire des bilans sur certains BV (mesures ponctuelles régulières ou stations pérennes), fiabiliser certaines stations de mesures et pérenniser les stations de mesures actuelles, notamment les plus récemment installées ;
- une meilleure représentativité des données utilisées :
 - les différences entre bassins versants souterrains et bassins de surface sont relativement faibles sur le département de l'Eure. Ces différences n'ont pas été prises en compte mais avec les nouvelles données piézométriques (rapport BRGM RP-52989-FR), on dispose désormais d'une évaluation plus fiable des tailles des bassins versants souterrains,

- une meilleure connaissance des paramètres ETP et RFU et de leurs variations à l'échelle des bassins versants reste à acquérir afin de fiabiliser la valeur des précipitations efficaces,
- mieux évaluer les rejets et les pertes réelles par les prélèvements : les coefficients définis par l'Agence de l'eau pourraient être à réexaminer,
- à hauteur des stations de jaugeage, il existe des débits sous alluviaux non pris en compte dans le bilan des bassins versants qui semble pouvoir atteindre des valeurs non négligeables (plusieurs dizaines de m³/s sur les grands bassins versants, plusieurs m³/s à dizaines de m³/s sur la Seine),
- la connaissance du coefficient d'emménagement global de la nappe à l'échelle d'un bassin versant demanderait plusieurs campagnes de mesures piézométriques synchrones lourdes et coûteuses. Il serait plus à privilégier les lois de tarissement (formule de Maillet ou équivalent, utilisé notamment par GARDENIA) pour l'évaluation des volumes de réserves vidangeables et des débits d'étiage.

Afin d'améliorer ces bilans, on s'aperçoit aussi que les réseaux de mesure ne sont pas toujours bien appropriés au suivi du fonctionnement de l'aquifère crayeux. Un certain nombre de recommandations suivantes seraient à examiner :

- peu de piézomètres ont une chronique exploitable (fluctuation globale de la zone, et non uniquement locale) suffisamment longue. Il est de plus en plus impératif de maintenir le plus longtemps possible le suivi des piézomètres actuels pour disposer de chroniques longues (> 25 ans) ;
- des stations de jaugeage manquent en aval des grands cours d'eaux, soumis à l'effet de marée (Risle, Eure, Seine). Si la mesure est largement rendue compliquée par l'effet irrégulier et non symétrique des flux de marées, la mise en place de suivi de débits à l'aval (en dépit de la marge d'erreur plus forte) a démarré sur la Risle mais reste à programmer sur la Seine, où la seule station de la région Poses n'est pas représentative du débit total de la Seine. Deux stations pérennes de jaugeage sur Seine, une en aval de la confluence de l'Eure et une en aval de la confluence de la Risle permettraient de connaître le débit total réel de la Seine ;
- les nouvelles stations de jaugeage en aval de cours d'eaux restent à pérenniser à un endroit fixe sur l'Andelle (Pitres), la Charentonne (Saint Aubin le Vertueux, ou mieux sur Serquigny), la Risle (Corneville sur Risle ou plus aval) ;
- le suivi de l'Iton aux Planches, associé à la nouvelle station de Bonneville-sur-Iton, semble à terme plus pertinent que la station actuelle de Normanville ;
- un suivi pérennisé de la Risle amont sur sa partie connectée à l'aquifère, entre Beaumontel et Nassandres reste nécessaire ;
- certains petits bassins versants restent à équiper (Oison, Morelle) en stations de débit, piézométrie.

7. Conclusion

Un bilan hydrique quantitatif de l'aquifère crayeux a été réalisé sur les différents bassins versants du département de l'Eure. 14 bassins versants ont été définis sur le département de l'Eure et ses alentours, sur lesquels ont été collectées les données hydrologiques disponibles.

Selon les bassins versants, la qualité et la représentativité des données sont extrêmement variable, n'autorisant même pas dans certains cas à s'assurer de l'équilibre du bilan hydrique quantitatif (bilan théorique sans pertinence vérifiable), alors que dans d'autres cas, il a été possible de faire une modélisation du bilan à l'aide du modèle hydrologique Gardenia du BRGM et d'obtenir ainsi des résultats plus détaillés.

On dispose au final de :

- 3 bilans hydriques bien détaillés ayant fait l'objet d'une modélisation Gardenia (Bassins versants de l'Epte, de l'Iton, de la Risle à Pont Authou),
- 8 bilans hydriques globaux moyens,
- 2 bilans faits sur la base de quelques données ponctuelles (Oison et Morelle),
- 2 bilans quantitatifs théoriques (Seine aval et Seine Gambon).

L'équilibre et la bonne cohérence des bilans sont atteints, hormis l'Oison (doté d'un jeu de données insuffisant). Sur les bassins versants de l'Eure amont, de l'Eure aval et sur l'Andelle, les déficits trouvés au bilan hydrique quantitatif sont en deçà des limites d'incertitudes des données et resteront à confirmer par des investigations plus détaillées. La comparaison entre les deux méthodes de calculs des bilans employées (bilan moyen global et Gardenia) s'avère bonne, ce qui indirectement peut signaler que les bilans plus théoriques ne devraient pas être trop décalés de la réalité.

A l'image de la pluviométrie, le renouvellement de la ressource est contrasté entre le N et le NW d'une part et le S et le SE d'autre part. La pluie efficace moyenne annuelle, exprimée en mm de lame d'eau, a été évaluée comme variant d'une valeur de recharge moyenne (130 mm sur l'Avre) à une valeur de recharge forte (323 mm sur la Calonne). En moyenne, les précipitations efficaces moyennes annuelles sont abondantes (205 mm), deux fois plus fortes qu'en Ile-de-France (100 mm seulement) mais plus basses que pour la Seine-Maritime (300 mm).

Pour les besoins actuels et au vue des données de 1972 à 2002, **l'aquifère crayeux bénéficie donc d'une recharge suffisante qui ne pose aucun problème quantitatif majeur en temps normal** (en terme de volume, qu'il soit accessible ou pas). Le sud et le sud-est du département, où les bassins versants sont en moyenne les moins arrosés et où la ressource est déjà bien exploitée, mérite d'être surveillé avec vigilance, en cas d'étiage marqué et durable (bassins versants de l'Avre, de l'Iton et de l'Eure).

L'importance des volumes prélevés par rapport au renouvellement moyen de la ressource est en moyenne conséquente (10 %). Mais ce poids est principalement concentré sur 5 bassins versants, l'Avre (aval avec 28 %), la Seine aval (26 %), et

dans une moindre mesure sur l'Andelle (aval 12 %), sur l'Eure aval (12 %) et sur la Seine Gambon (10 %).

Mais compte tenu qu'une bonne partie des volumes prélevés est, après usage et évapotranspiration partielle, renvoyée dans le milieu, l'impact réel d'un point de vue quantitatif de la ressource reste faible (3.5 % du renouvellement moyen). Seul le bassin de l'Avre reste avec un impact élevé des prélèvements sur la ressource (13 %), du fait notamment des importants prélèvements AEP pour la ville de Paris qui sortent du bassin versant. Les impacts significatifs restent ailleurs limités et ne concernent que certaines villes et/ou zones d'industrie du département (Le Vaudreuil, puis Vernon, Gaillon, Evreux, les Andelys et Alizay).

C'est l'usage en eau potable (AEP) qui reste d'un point de vue quantitatif sur les 14 bassins versants définis le principal consommateur avec 83 % des pertes totales dues aux prélèvements (53 % en terme de volumes captés), suivi de l'usage industriel AEI avec 8.7% (et 42.4 % des volumes). Enfin, l'irrigation agricole atteint 8.3 % (4 % des volumes prélevés), où elle se concentre surtout au Sud et au SE du département. Ramenés au seul département de l'Eure, les prélèvements agricoles déclarés sont supérieurs aux prélèvements industriels (qui captent de gros volumes mais en rejettent presque la totalité).

Les incertitudes sur les bilans hydriques des bassins versants restent avant tout liées à la qualité des données et à leur représentativité. Tout ce qui peut contribuer à améliorer les données hydrologiques contribue à améliorer la connaissance des bilans hydriques et le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère crayeux. Afin d'améliorer ces bilans, on s'aperçoit aussi que les réseaux de mesure hydrologiques existants ne sont pas toujours bien appropriés pour répondre à ces objectifs.

Un certain nombre de recommandations en vue d'optimiser ces réseaux ont été formulées :

- assurer la pérennisation de certaines stations de mesures pour disposer de chroniques longues,
- ajouter de nouvelles stations de mesures sur les zones actuellement non couvertes (lacunes de données). L'absence de suivi du débit de la Seine à son embouchure est probablement la lacune de données la plus pénalisante mais sur tous les réseaux, le maillage des points méritera d'être plus ou moins étoffé,
- envisager une programmation de mesures ponctuelles à rythme espacé mais régulier sur les bassins versants à enjeux secondaires (peu suivis jusqu'à présent).

Si la recharge quantitative de la nappe de la craie n'est pas en soi un vrai sujet d'inquiétude en terme de volume, des problèmes plus spécifiques apparaissent liés à l'accessibilité aux volumes de la ressource et surtout au régime turbulent des écoulements dans le karst (engouffrement rapide par les bêttoires d'eaux de surface de qualité dégradée : turbidité, phytosanitaire) qui rendent la nappe vulnérable. La présence de linéaires perchés des cours d'eaux dans leur amont dans le sud de l'Eure (Iton, Risle, Avre) permet aussi une ré infiltration partielle dans l'aquifère crayeux, ce qui contribue potentiellement à la vulnérabilité de l'aquifère de la craie et aux difficultés actuelles à y trouver de nouvelles ressources en eaux souterraines de bonne qualité.

C'est de loin la qualité chimique des eaux souterraines qui reste l'enjeu majeur des années à venir et qui va limiter les possibilités d'exploitation de nouvelles ressources pour l'eau potable. L'évolution actuelle tend à la concentration des prélèvements sur

les ouvrages les moins vulnérables, associés à la recherche de nouveaux captages moins productifs et plus nombreux, situés dans des zones moins vulnérables de l'aquifère crayeux. Mais, la lente dégradation de la qualité chimique des eaux de l'aquifère conduit déjà à envisager de mobiliser des ressources plus profondes, notamment dans le sud de l'Eure.

8. Bibliographie

AMRAOUI.N., GOLAZ.C., MARDHEL.V., NEGREL.P., PETIT.V., PINAULT.J.L., POINTET.T. (2002) Simulation par modèle des hautes eaux de la Somme, Rapport BRGM RP51827-FR, 184p , 83 fig.

ARTIS H., ROUX J.C. (1973) Données géologiques et hydrogéologiques acquises sur la feuille Gisors 125 (Eure, Oise, Val d'Oise). Rapport BRGM n°73SGN014PNO

BASSOMPIERRE P., MARTIN P., ROUX J.C. (1967) Données géologiques et hydrogéologiques acquises sur la feuille Les Andelys 124 (Eure). Rapport BRGM DSGR 67 A73

BEDIOT G., RENARD D (1975) Seine Normandie : Eaux superficielles. Volume B données hydrométriques du fichier de bassin. Cahier techniques n°2 : Pub. Bull Seine-Normandie. Octobre 1975.

BOURGUET L, LEMOINE J., TRICOIRE J.C (1967) Monographie hydrogéologique de la zone 3 (Haute Normandie). Rapport BURGEAP n° R444. 81p. 2 pl.

BRGM (1965) – Etude hydrologique sommaire du bassin de l'Andelle Note BRGM n°65PNO06 30p. 5 fig.

BURGEAP (1971) DDE 27 : Etude hydrogéologique du bassin de la Risle (2ème phase). rapport BURGEAP n° R58-E78 ; 53p., 6pl., 5 ann.

BURGEAP (1974) AFBSN: Synthèse hydrogéologique du bassin de l'Eure (2ème phase). rapport BURGEAP n° R136-E228 ; 53p., 12pl., 3 ann.

CHEMIN J., HOLE J.-P., PECKRE M., et VIDARD I. (1991) - Atlas et notice de l'atlas hydrogéologique de la Seine Maritime, BRGM, 66p., 2 planches, 2 annexes datant de 1981

CHEMIN J., HOLE J.-P., PECKRE M., et PERNEL F. (1991) - Atlas et notice de l'atlas hydrogéologique de l'Eure, BRGM, 72p., 2 planches, 2 annexes datant de 1981

DE LA QUERIERE P., PASCAUD P. (1970) Données géologiques et hydrogéologiques acquises sur les feuilles Evreux 150 et Mantes 151 (Eure). Rapport BRGM n°70SGN041PNO

DE LA QUERIERE P., VAN DEN AVENNE S. (1970) Données géologiques et hydrogéologiques acquises sur les feuilles Le-Havre 97 et Lisieux 121 (Calvados et Eure). Rapport BRGM n°70SGN221PNO

DE LA QUERIERE P., Martel C. (1975) Bassin de l'Andelle. Prévision des besoins en eau potable aux horizons 1985 et 2000 Ressources disponibles et délimitations des zones de protection autour des captages AEP Rapport BRGM n°75SGN273PNO

DE LA QUERIERE P. (1999) - Aquifère crayeux de Haute-Normandie, version provisoire, 4p.

DIREN HNO (2004) Site web : estimation des débits de référence et des modules des cours d'eaux de Haute Normandie sur 253 points régionaux.

DOUYER C. (2000) - Une démarche collective. Pôle compétence SOL et EAU Haute-Normandie Plaquette de documentation.

FAREU R. (1951) L'Eure souterraine Tome IV 2 vol.

FOUCAULT A., RAOULT J.-F. (1980) - Dictionnaire de géologie, Masson ed.

HANOT F. (1998) AESN : Géologie et géométrie de l'aquifère de la Craie. Département de Seine Maritime. Zones occidentales et orientales Rapport CGG n° 01IMEOL03/04/97, 40 p. 16 pl.

HANOT F. (1998) CG Seine Maritime. Bilan quantitatif de la nappe de la craie en Seine Maritime pour le schéma départemental d'alimentation en eau potable Rapport CGG, 28 p. 20 pl., 9 fig., 4 ann.

HANOT F. (2001) Département de l'Eure et Loir. Etude hydrogéologique de l'aquifère de la craie Rapport CGG, 28 p. 10 pl. 3 ann.

LE HIR P, JACINTO R. S. (2001) Courants, vagues et marées. Fascicule n° 2 : Les mouvements de l'eau. Programme Scientifique Seine aval.

LEROUX P. (1996) Etude hydrogéologique des bassins de la Calonne et de la Souleuvre. 2 tomes. 6 annexes. Mémoire de maîtrise. Univ de Caen

PANEL R (1980) Débit et qualité des sources de la ville de Paris dans l'Eure. rapport BRGM 80SGN715HNO

REZAU-VALYZE G.H (1970) Recherches des facteurs d'écoulements dans les bassins de Picardie et Haute Normandie. Thèse d'Etat. Univ. Paris VI. Editions BRGM

RICO G. (1990) - Hydrogéologie de la craie : le système aquifère karstique de l'Aubette (Seine Maritime). Circulations rapides et caractérisation de la turbidité des eaux souterraines. Thèse de l'Université de Rouen. 249 p., 100 fig., 13 tab.

RODET J. (1992) La craie et ses karsts. Thèse Univ. Paris I, CNEK Elbeuf 560 p.

VAN DEN AVENNE S., TREMEMBERT J (1973) Données géologiques et hydrogéologiques acquises sur la feuille Gournay 101 (Eure, Oise, Seine Maritime). Rapport BRGM n°73SGN015PNO.

WAZI N. (1988) le Crétacé du Roumois (vallée de l'Oison) et le Tertiaire-Quaternaire des régions voisines de la basse vallée de la Seine. Thèse de l'Université de Rouen. 535 p

Annexe 1 :

Présentation détaillée du logiciel GARDENIA

GARDENIA est un modèle hydrologique global développé par le BRGM. Ce logiciel simule le cycle de l'eau, depuis les précipitations sur le bassin versant jusqu'au débit à l'exutoire d'une rivière (ou d'une source) ou au niveau ponctuel d'un aquifère (niveau piézométrique). Ce modèle est global car il considère des « données d'entrée » globales (pluie et évapotranspiration potentielle) et une sortie unique qui est, suivant le cas, le débit à l'exutoire ou le niveau piézométrique en un point de la nappe sous-jacente. GARDENIA simule le cycle de l'eau par plusieurs réservoirs en cascade. Plusieurs configurations sont possibles. Dans la présente étude, nous avons retenu celle à 3 réservoirs (fig. 17 et 18) qui représentent schématiquement :

- la zone superficielle du sol sujette à la reprise par évaporation ;
- la zone non saturée siège des écoulements rapides (Ruissellement et composante rapide des écoulements karstiques) ;
- la zone saturée siège des écoulements lents de l'aquifère.

Les « échanges entre les réservoirs sont définis par des fonctions de transfert faisant intervenir une dizaine de paramètres globaux (réserve utile, temps de tarissement, etc.) définis pour un bassin versant ou une entité homogène au sein d'un bassin versant.

En modélisation hydrologique globale, pour initialiser l'état de remplissage des réservoirs, il est nécessaire de prendre en compte une période d'initialisation. Celle-ci doit être d'autant plus longue que l'inertie ou « mémoire » de l'aquifère est grande. Cela suppose de disposer de chroniques de pluie et ETP sur une période aussi longue que possible antérieurement à la période de calage.

Le calage du modèle consiste à ajuster au mieux les données d'entrée (pluie, ETP) et les données de sortie (débit ou niveau piézométrique) avec un jeu de paramètres réaliste. Ce calage s'effectue par une méthode semi-automatique. L'utilisateur fournit un jeu de paramètres initiaux et indique ceux qui doivent être optimisés selon un algorithme non-linéaire adapté de la méthode de Rosembrock. Le logiciel fait alors varier ces paramètres jusqu'à trouver un jeu fournissant la meilleure adéquation entre séries calculées et observées. Ce calage s'effectue sous le contrôle de l'utilisateur qui peut le contraindre, notamment par la fixation des valeurs de certains paramètres ou de bornes plausibles.

Une fois calé, le modèle peut être utilisé pour calculer les différents termes du bilan hydrologique. Dans le cadre de la présente étude, nous utiliserons ces résultats pour différencier les deux composantes de l'écoulement :

- celle rapide que l'on peut assimiler au ruissellement superficiel et à la composante rapide des écoulements karstiques ;
- celle lente que l'on peut assimiler à la composante lente des écoulements souterrains c'est-à-dire à la contribution des aquifères au débit des rivières.

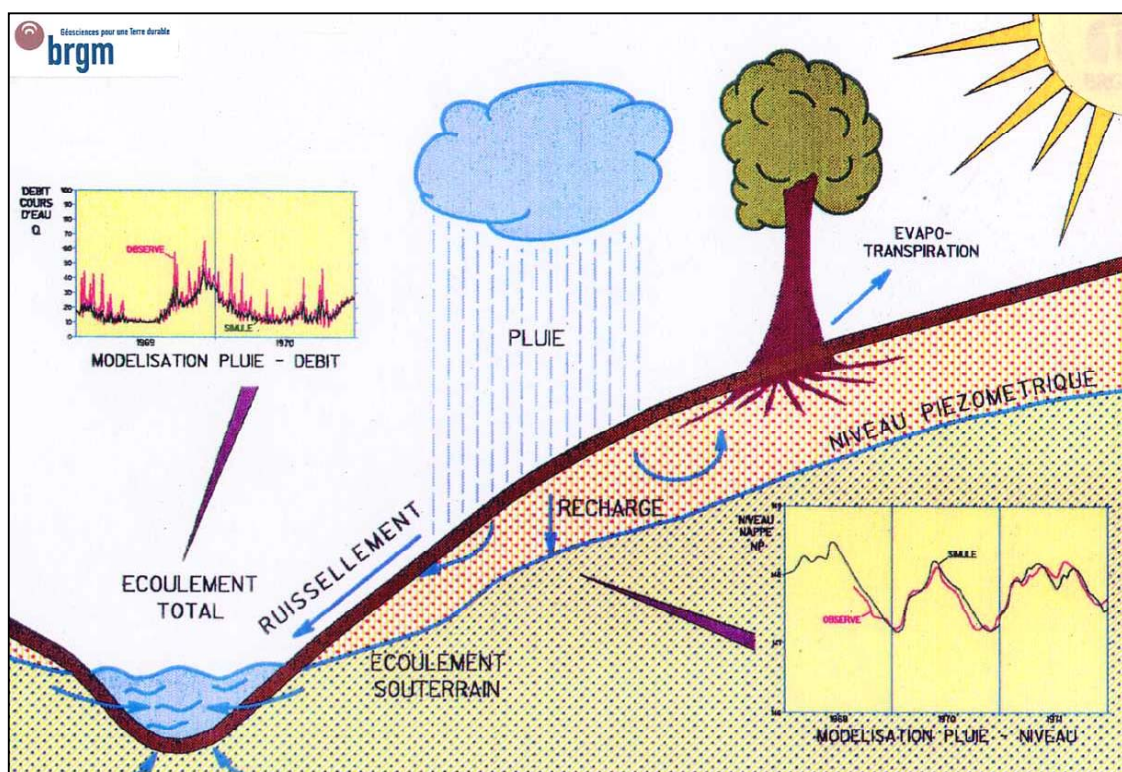


Fig. 42 - Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant

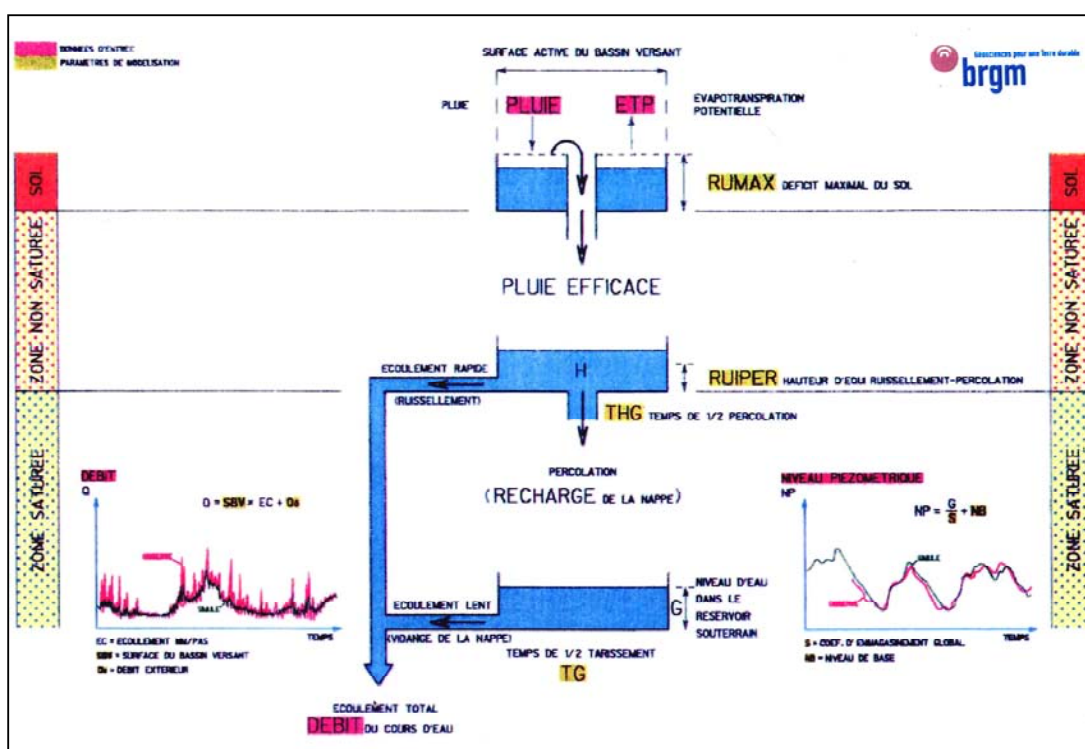


Fig. 43 - Principe du modèle hydrologique global GARDENIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique

Collecte, contrôle et mise en forme des données

La phase de collecte et contrôle des données est essentiel pour assurer la validité des résultats des modélisations quelles qu'elles soient.

Cette phase comprend l'analyse du système hydrologique étudié afin d'identifier ses conditions aux limites :

- échanges avec d'autres systèmes (prélèvement pour l'alimentation en eau potable, apports et /ou sorties souterraines, etc.).
- bassin d'alimentation de l'aquifère différent du bassin versant topographique (c'est notamment le cas en région karstique).

Cette phase d'étude a été réalisée d'après l'analyse des cartes géologiques et hydrogéologiques et la consultation des études régionales ou locales réalisées sur le secteur.

Cette phase contribue à définir les données à collecter : précipitations, évapotranspiration potentielle ou paramètres climatiques permettant de la calculer, débit mesuré (rivière ou source), débits prélevés (en rivière, sur les sources ou les aquifères), niveaux piézométriques, coefficients d'emménagement libre de l'aquifère, et tous autres renseignements susceptibles d'influencer la modélisation.

On cherchera à recueillir les données sur la période la plus longue possible afin d'être aussi représentatif que possible des grandes fluctuations climatiques inter annuelles et de permettre de disposer d'une période d'initialisation de longueur suffisante.

Le pas de temps de calage du modèle GARDENIA peut être journalier, pentadaire (5 jours), décadaire ou mensuel. Il est supérieur ou égal à celui des données de sortie. Le choix du pas de temps à retenir est fonction du problème posé, des données disponibles et du coût d'achat et de traitement des données. Il est bien évident que pour traiter de la contribution des aquifères aux débits de crue des rivières, il est préférable d'utiliser un pas de temps fin (journalier ou pentadaire). Pour des aquifères à forte inertie l'utilisation du pas de temps mensuel permet une approximation satisfaisante.

Une analyse critique des données de base a été effectuée de façon à identifier des lacunes d'observations et des erreurs grossières ou systématiques de données. Dans la mesure du possible, une analyse de l'homogénéité des séries pluviométriques a été effectuée par la méthode des doubles cumuls. Des corrections ont été effectuées lorsque cela s'est avéré nécessaire.

Calage des modèles hydrologiques globaux

Pour chaque bassin versant étudié, l'étude a été conduite selon les étapes suivantes :

- analyse des bassins versants étudiés et de leurs conditions aux limites ;
- collecte, analyse critique, reconstitution éventuelle des données manquantes et mise en forme des données ;
- modélisation hydrologique globale pluie – débits et pluies niveaux piézométriques ;
- exploitation du modèle hydrologique global calé.

Equations du bilan hydrologique

L'exploitation des modèles hydrologiques globaux GARDENIA pluie – débit et pluie – niveau piézométrique permet de quantifier les différents termes du bilan hydrologique. Les équations du bilan hydrologique globale **pluie – débit** sont les suivantes :

$$PLUIE = ETR + PEF$$

$$PEF = Q_{RAP} + Q_{SOUT} + dSTO$$

$$QRivière = (Q_{RAP} + Q_{SOUT}) + Q_{Echange}$$

avec :

PLUIE	Lame d'eau précipitée sur le bassin
ETR	Lame d'eau évapotranspirée sur le bassin
PEF	Hauteur de pluie efficace ou écoulement global
Q _{RAP}	Lame d'eau écoulee rapide (Ruissellement superficiel + écoulement karstique rapide)
Q _{SOUT}	Lame d'eau écoulee correspondant à l'écoulement souterrain lent
Q _{Echange}	Lame d'eau écoulee correspondant au débit d'échange avec d'autres systèmes hydrologiques
	$Q_{Echange} > 0$ si apport extérieur au bassin
	$Q_{Echange} < 0$ si sortie d'eau bassin

Dans les modélisations hydrologiques globale **pluie – niveau piézométrique**, le niveau piézométrique est déduit de la hauteur d'eau dans le réservoir souterrain (G) par la relation :

$$NP = \frac{G}{SG} + NB$$

avec :

NP	Niveau piézométrique
G	Hauteur d'eau dans le réservoir souterrain
SG	Coefficient d'emménagement global
NB	Niveau de base

On peut ainsi différencier deux types d'écoulements :

- les écoulements rapides représentés par le ruissellement superficiel et la composante rapide des écoulements karstiques ;
- les écoulements lents représentant la composante lente de l'écoulement souterrain. C'est ce que nous assimilerons à la contribution des aquifères au débit des rivières.

Cette décomposition entre les écoulements lents et souterrains doit toutefois être considérée comme indicative car les modèles ne calent pas sur ces composantes qu'on ne sait pas mesurer de façon simple.

De plus, ces termes « lent » et « rapide » doivent être relativisés en fonction notamment des valeurs des temps de demi-tarissement (TG) et de demi-percolation (THG).

Les termes du bilan hydrologique peuvent être calculés à des pas de temps différents.

Annexe 2 :

Examen comparé des tailles de Bassins versants

La comparaison entre bassin versant de surface et souterrain a été faite d'après l'atlas hydrogéologique du département de l'Eure de 1989. Les limites de bassins versants de surface ont été ensuite complétées sur les bassins versants de l'Avre, de la Risle et de la Charentonne par le MNT.

Elle montre (figure ci-dessous) que les limites sont très proches les unes des autres :

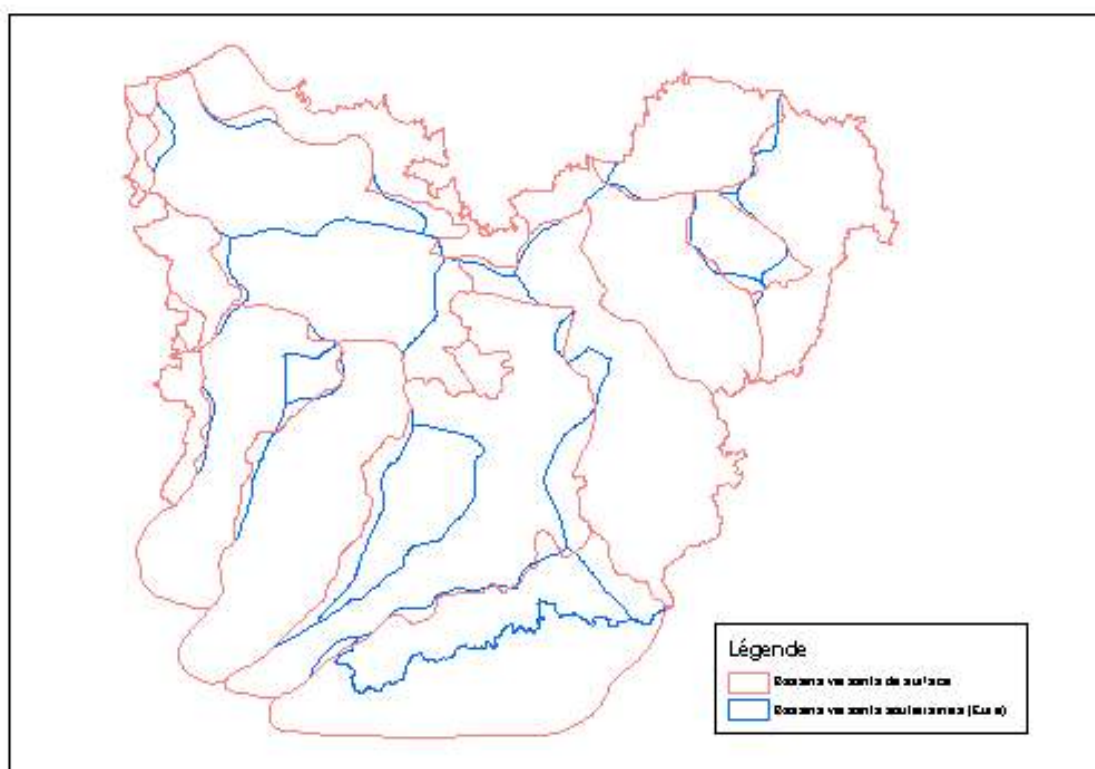


Fig. 44 - Bassins versants souterrains et de surface

Les différences de tailles sont inférieures à 10 % sur les bassins versants, ne dépassant pas les 50 km² -(tableau ci-joint).

Les grands bassins versants obtenus avec le fichier utilisé pour les bilans (bassins versant de surface de Carthage version 3) et les bassins versants obtenus à partir de la différence moyenne sont très proches, par exemple :

Station/BV	surface (km ²)	sout. (km ²)	Differ. (km ²)	Differ. Relative
Charpont	2050	2030	-20	-1%
Cailly	4530	4589	59	1%
Louviers	5990	5923	-67	-1%
Forges	1370	1393	23	2%
Pont Authou	1710	1797	87	5%
Risle	2250	2320	70	3%
Avre	880	958	78	8%
Iton	1300	1220	-80	-7%
Andelle	737	734	-3	0%
Epte	1620	1495	-125	-8%
Charentonne	505.1	464	-41.4	-9%

Annexe 3 :

**Bilan comparé des trois calages GARDENIA sur
les bassins versants de l'Epte, de l'Iton et de la
Risle.**

RESULTATS ET COMPARAISON DES DIFFERENTS BASSINS

Les résultats des calages GARDENIA pluie – débit et pluie – niveau

Le tableau suivant récapitule les résultats des calages des trois rivières étudiées :

Cours d'eau	Station hydrométrique	Surface du bassin versant km ²	Debit extérieur m ³ /s	Coefficient d'ajustement nat.	Coef. Pluie %	Coef. ETP %	RUMAX mm	RUIPER mm	THG mois	TG mois	Diff. stockage mm	Période de Calage
Epte	Fourges	1370	-0.3	0.91	-3.4	21.2	103.6	276.5	3.2	17.8	10.2	1972-2001
Itton	Normanville	1050	-1	0.82	0	6	68.4	542	4.9	43.9	10	1972-2002
Risle aval	Pont-Authou	1690	-0.6	0.82	0	18.9	90	250	9.5	16.8	6.6	1973-2002

La modélisation pluie-débit est représentative pour la globalité du bassin et intègre alors des zones de différentes caractéristiques.

Les trois bassins ont des fuites estimées de 0.3 à 1 m³/s qui sont la somme de prélèvements, des fuites par sous-écoulement et des pertes par des écoulements karstiques vers d'autres bassins situés en amont des stations hydrométriques respectives. Il existe une incertitude importante en ce qui concerne les débits d'échange avec les systèmes adjacents et la part des débits prélevés effectivement consommés.

L'aquifère de la craie montre dans les trois bassins une inertie importante indiquée par les valeurs fortes des temps de demi-tarissement THG (écoulement rapide) et TG (écoulement lent).

Ils montrent des cycles lents supérieurs à un an (17 à 44 mois de demi-tarissement) et montrent un stockage et déstockage des nappes qui influencent fortement les débits : les débits d'étiage sont importants sur les trois bassins dans les années 1983 et 2002 suite à plusieurs années d'augmentation de débit d'étiage.

Les trois bassins montrent une augmentation de stockage des aquifères qui caractérisent une période générale de hautes eaux en 2002 par rapport à 1972/1973.

Le tableau suivant récapitule les résultats des calages des piézomètres choisis sur les trois bassins étudiés :

Bassin Versant	Piézomètre	Coef. emmagasinement globale %	Coefficient d'ajustement nat.	Coef. Pluie %	Coef. ETP %	RUMAX mm	RUIPER mm	THG mois	TG mois	Diff. stockage mm	Période de Calage
Epte	Piezomètre 1252	0.6	0.93	-10.8	5	115	261	6	7	5	1965-2002
	Piezomètre 1256	6	0.94	-15	15	132	356	1	30	7	1985-2002
	Piezomètre 1013	1.5	0.91	-8.3	5	145	233	4	5	5	1965-2002
Itton	Piezo 1794	4.5	0.87	0	6	68.4	9975	1	23	11	1985-2002
	Piezo 1795	0.57	0.89	0	6	68.4	625	10	2	6	1988-2002
	Piezo 1801	2.6	0.94	0	6	68.4	9963	0.2	14	8	1995-2002
Risle aval	Piezomètre 1493	4	0.75	-6.3	2.8	239.3	485	16	7	8	1985-2002

Nous pouvons observer une forte variabilité entre les différents piézomètres. Il faut prendre en compte que la modélisation pluie-niveau piézométrique est représentative de l'environnement immédiat du piézomètre. Le coefficient d'emmagasinement a été calé dans des limites réalistes et varie entre 0.6 et 6 %.

On peut observer une variabilité de RUMAX et une variabilité des pluies, même à l'intérieur d'un bassin. Ces deux facteurs se traduisent automatiquement par des valeurs de pluie efficaces différentes entre 146 et 228 mm. Des corrections des pluies ont été appliquées par rapport à la position des piézomètres et celle de la station de pluie pour la modélisation pluie-niveau. Pour la modélisation globale pluie-débit, la correction est calculée par rapport à la moyenne du bassin.

Nous n'avons pas directement d'éléments pour connaître la valeur réaliste du RUMAX qui dépend de la nature de couverture du terrain. Elle est faible lorsque l'on a directement la craie affleurante et augmente avec un sol de plus forte capillarité (l'eau remonte à la surface et s'évapore).

L'ETP est une valeur mesurée sur un terrain sans végétation importante. Dépendant des types de plantes, l'ETP varie fortement et peut augmenter considérablement. Nous n'avons pas d'élément disponible pour estimer le facteur de correction. Un coefficient positif jusqu'à 21 % a été estimé.

Cours d'eau	Station hydro-métrique	Pluie mm	Evapotranspiration réelle mm	Pluie efficace		Ecoulement rapide QRAP		Ecoulement lent Qlent		Variation de stock dSTO		Ecoulement calculé de la rivière		(Qlent+ dSTO) /PEF	Debit de fuite	
				mm	m3/s	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	m3/s	%	mm	m3/s
Epte	Fourges	803	574	229	9.97	59	26	160	70	10	4	212	9.22	74	-7	-0.3
Iton	Normanville	621	475	146	4.87	21	14	115	79	10	7	106	3.54	86	-30	-1
Risle aval	Pont-Authou	790	562	228	12.24	93	41	129	57	7	3	211	11.31	60	-11	-0.6

Bassin Versant	Piézomètre	Pluie mm	Evapo-transpiration réelle mm	Pluie efficace		Ecoulement rapide QRAP		Ecoulement lent Qlent		Variation de stock dSTO		(Qlent+ dSTO) /PEF
				mm	m3/s	mm	% PEF	mm	% PEF	mm	% PEF	%
Epte	Piezomètre 1252	741	537	204	8.881	64	31	134	66	5	2	68.1
	Piezomètre 1256	706	555	151	6.573	22	15	118	78	11	7	85.4
	Piezomètre 1013	762	575	187	8.14	54	29	129	69	4	2	71.1
Iton	Piezo 1794	621	475	146	4.87	0.8	1	135	92	11	8	99.7
	Piezo 1795	621	475	146	4.87	28	19	112	77	6	4	80.8
	Piezo 1801	621	475	146	4.87	0.4	0	137	94	8	5	99.3
Risle aval	Piezomètre 1493	740	646	91.4	3.05	23	25	63	69	8	9	77.7

On peut observer une forte différence des pluies (621 à 803 mm) et des pluies efficaces (146 à 229 mm) pour les 3 différents bassins. Cela reflète que le département de l'Eure est particulièrement inhomogène pour ses pluies.

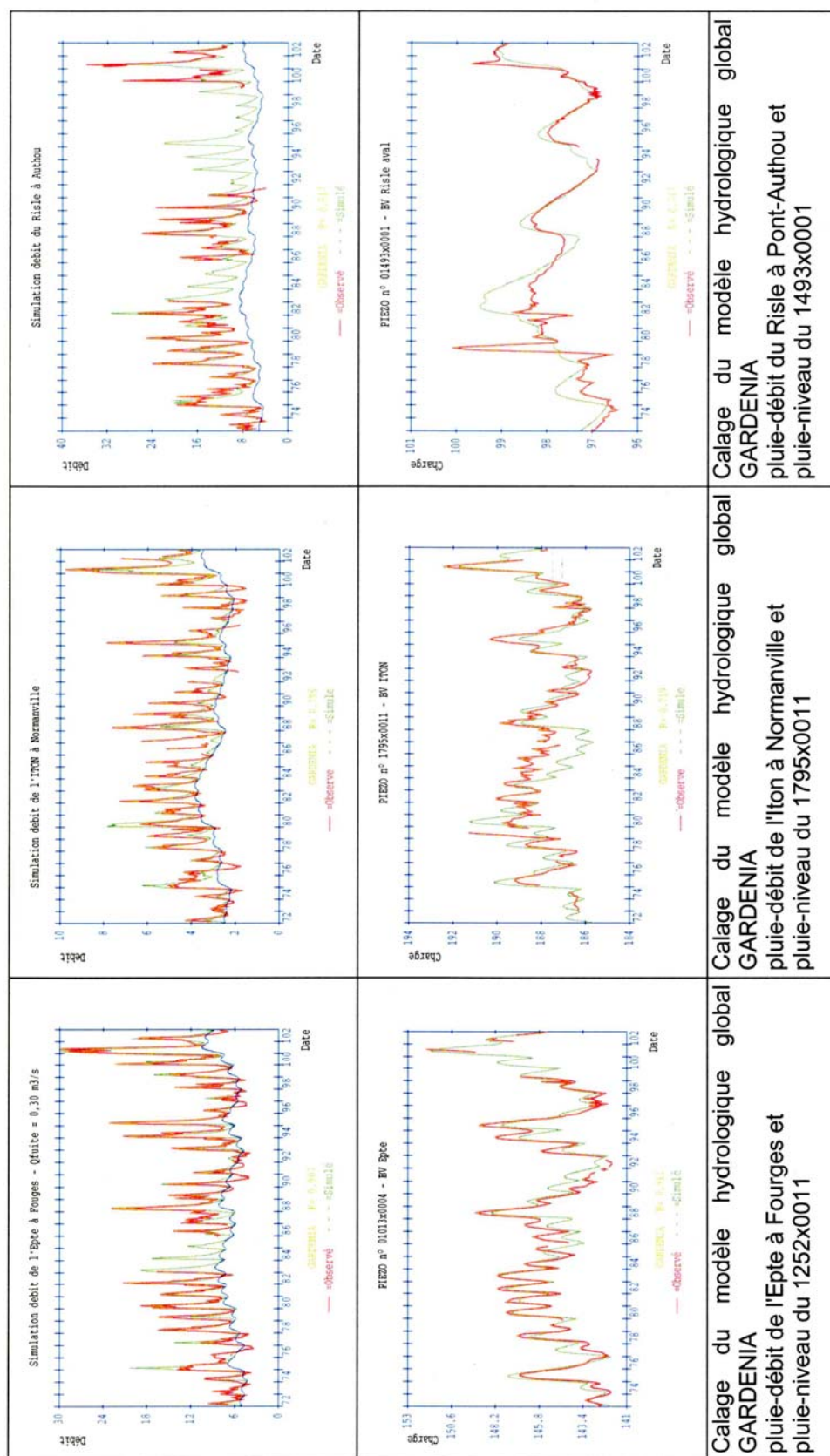
Le résultat du ratio entre les écoulements lents et rapides varie entre 60 % (BV Risle) et 86 % (BV Iton). Le faible taux d'écoulement lent pour le bassin versant du Risle peut s'expliquer par la présence de grandes surfaces Eocène et Oligocène au sud composé de sédiments fins moins infiltrants. L'Epte présente une valeur intermédiaire : la zone centrale est très infiltrante et influencée par les nappes tandis que le nord avec l'affleurement des formations du Jurassique et du Crétacé inférieur et plus ruisselante.

La figure en page suivante montre des graphiques des débits simulés et observés avec la décomposition en écoulement rapide et lent (souterrain). Un calage pluie-niveau de la même période, les années 1973 à 2002, pour chaque bassin permet la comparaison

et montre la différence de ces deux approches. On peut observer des similitudes d'inertie - stockage et déstockage pour les deux approches.

La modélisation des piézomètres montre une plus grande variabilité due :

- à la représentation spatiale restreinte de ce type de modélisation,
- aux hypothèses retenues pour le coefficient d'emmagasinement global (valeurs en général ajustées par le modèle dans une fourchette 0.6 à 6 %),
- aux hypothèses retenues pour les coefficients correcteurs des pluies et ETP.





Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Haute-Normandie
Parc de la Vatine – 10 rue A. Sakharov
76130 Mont Saint Aignan – France
Tél. : 02 35 60 12 00