CHER

CONSEIL GENERAL DU CHER

ETUDE SUR LA MISE EN PLACE D'UNE GESTION VOLUMETRIQUE DE LA RESSOURCE EN EAU POUR L'IRRIGATION

BASSIN YEVRE - AURON

RAPPORT FINAL

N°1 34 0171 - NOVEMBRE 2005

SOGREAH CONSULTANTS

Sommaire

1 BILAN DES CONNAISSANCES SUR L'ETAT DE LA RESSOURCE 1

1.1 LA PLUVIOMETRIE : ALTERNANCE DE PERIODES SECHES ET HUMIDES MARQUEES DEPUIS 1970 .. 1
1.1.1 Carte de la pluviométrie sur la zone du SAGE 1
1.1.2 Les années 1970-1995 : deux périodes sèches séparées par une période humide.... 2
1.1.3 Les pluies efficaces..... 4
1.2 DES RIVIERES AUX ETIAGES SEVERES..... 4
1.2.1 Le réseau hydrographique du bassin de l'Yèvre 4
1.2.2 Les stations de mesure et le réseau de suivi des étiages..... 5
1.2.3 Caractéristiques des étiages 6
1.3 UNE NAPPE AUX VARIATIONS TRES RAPIDES 8
1.3.1 Le rôle important du réservoir des calcaires de l'Oxfordien supérieur 8
1.3.2 Délimitation des bassins versants souterrains 9
1.3.3 Les stations de mesure existantes 10
1.3.4 Dynamique annuelle de la nappe des calcaires de l'Oxfordien supérieur : des recharges et des vidanges rapides..... 12
1.4 DES RIVIERES EN RELATION FORTE AVEC LA NAPPE..... 13
1.5 CONCLUSION DE LA PARTIE 1 17

2 ETAT DES LIEUX DES VOLUMES PRELEVES POUR LES BESOINS DES DIFFERENTS USAGES 18

2.1 INVENTAIRE DES OUVRAGES DE PRELEVEMENT 18
2.2 EVOLUTION DES VOLUMES PRELEVES PAR USAGE AU COURS DES 30 DERNIERES ANNEES 19
2.2.1 Croissance forte des surfaces irriguées en 20 ans et stabilisation depuis 10 ans..... 19
2.2.2 Part des prélèvements domestiques, agricoles et industriels 21
2.2.3 Une variabilité importante de la pression des prélèvements par sous-bassin 24
2.2.4 L'incidence du Canal de Berry sur les volumes prélevés..... 27
2.3 CONCLUSION SUR LA PARTIE 2..... 30

3 UNE RESSOURCE FRAGILE, RENDANT DELICATS LES PRELEVEMENTS AGRICOLES 32

3.1 L'INFLUENCE DES POMPAGES SUR LES RIVIERES 32
3.1.1 Alimentation induite des pompages par la rivière..... 32
3.1.2 Réalisation d'un modèle simplifié de l'aquifère sous Flowpath 36
3.2 L'INFLUENCE DU CLIMAT SUR LES ETIAGES DE 1970 A 2003 37
3.3 UNE RESSOURCE NATURELLEMENT FRAGILE..... 39
3.4 LES DONNEES MANQUANTES..... 41
3.5 CONCLUSION SUR LA PARTIE 3..... 42

4 DETERMINATION D'UN VOLUME EXPLOITABLE PAR L'IRRIGATION 43

4.1 PREAMBULE : LES LIMITES DE L'APPLICATION D'UNE GESTION VOLUMETRIQUE SUR LE BASSIN YEVRE AURON..... 43
4.2 CHOIX D'OBJECTIFS DE DEBITS EN RIVIERE 43
4.2.1 Qu'est-ce qu'un bon objectif pour la rivière ? 43
4.2.2 Un outil statistique comme support de discussion..... 44
4.2.3 Estimation de l'erreur liée à l'approche 45
4.2.4 Application à la détermination d'objectifs d'état pour l'Yèvre et pour l'Auron..... 48
4.3 CONSEQUENCES SUR LE VOLUME THEORIQUEMENT EXPLOITABLE POUR L'IRRIGATION 51
4.3.1 Les réponses apportées pour les zones géographiques couvertes par l'outil 51
4.3.2 Extrapolation à l'ensemble des sous-bassins du groupe 1. 52
4.3.3 Le cas du Canal de Berry 56

4.4 CONCLUSION SUR LA PARTIE 4 57

5 UN INDICATEUR D'ETAT DE LA RESSOURCE DISPONIBLE AU 1ER JANVIER ? 58

5.1 MIEUX MAITRISER LES RISQUES ET LA PRISE DE DECISIONS 58
5.2 UN INDICATEUR FONDE SUR L'EVOLUTION ANNUELLE DU NIVEAU DE LA NAPPE 58
5.2.1 Relation entre le niveau de la nappe au 1er septembre et l'étiage de la rivière 58
5.2.2 Quelle probabilité pour un étiage sévère en partant d'un niveau de nappe donné au 1er Janvier ? 60
5.2.3 Indicateurs proposés 61
5.2.4 Utilisation pratique et pertinence des indicateurs 62
5.3 CONCLUSION SUR LA PARTIE 5 66

6 SYSTEMES DE GESTION VOLUMETRIQUE ENVISAGEABLES SUR LE BASSIN YEVRE AURON 67

6.1 DIAGNOSTIC DU SYSTEME COLIN OUATIER LANGIS 67
6.1.1 Rappel des principes du système 67
6.1.2 Une démarche intéressante, mais insuffisamment fondée sur la ressource en eau et la maîtrise des risques 68
6.2 OUTILS ET CADRE POUR UNE GESTION VOLUMETRIQUE SUR LE PERIMETRE DU SAGE YEVRE AURON 69
6.2.1 Cadre réglementaire existant 69
6.2.2 Détermination d'une structure porteuse 71
6.2.3 Tous les sous-bassins du périmètre SAGE sont concernés 71
6.2.4 Indicateurs piézométriques 72
6.2.5 Proposition de débits objectifs en rivière 72
6.3 DEROULEMENT D'UNE CAMPAGNE D'IRRIGATION ET INSCRIPTION DANS LE CADRE REGLEMENTAIRE 75
6.3.1 Détermination d'un volume global de référence pour les mois de juillet et d'août (sous-bassins du groupe 1) 75
6.3.2 Ajustement du volume global de référence au 1er février (sous-bassins du groupe 1) 76
6.3.3 Attribution d'un volume d'eau mois par mois par exploitation (ensemble du territoire du SAGE) 76
6.3.4 Majoration / minoration du volume d'eau individuel en fonction du niveau de la nappe (sous-bassins du groupe 1) 77
6.3.5 Minoration du volume d'eau individuel en fonction du débit en rivière. 78
6.4 ATTRIBUTION INDIVIDUELLE D'UN VOLUME D'EAU 81
6.4.1 Attribution sur la base des surfaces et des cultures irriguées. 81
6.4.2 Attribution sur la base du débit des pompes 82
6.4.3 Attribution en fonction des cultures, des surfaces irriguées et du débit des pompes 83
6.5 CONCLUSION SUR LA PARTIE 6 89

7 LES OUTILS DE MODELISATION UTILISES SUR D'AUTRES BASSINS FRANÇAIS 90

7.1 OBJECTIFS 90
7.2 MODELE ENVISAGEABLE SUR LE BASSIN DU SAGE YEVRE-AURON 90

Sommaire des figures, tableaux et cartes

FIGURES

FIGURE 1 : EVOLUTION DES DIFFERENTS PIEZOMETRES DE LA ZONE D'ETUDE 11
FIGURE 2 : RELATIONS ENTRE LA NAPPE ET L'YEVRE A SAVIGNY-EN-SEPTAINE 15
FIGURE 3 : RELATION ENTRE LE DEBIT DE L'YEVRE A SAVIGNYET LE NIVEAU DE LA NAPPE MESURE AU PIEZOMETRE DE SAVIGNY. UN POINT REPRESENTE UN JOUR « SANS PLUIE », C'EST A DIRE POUR LEQUEL IL N'A PAS PLU DURANT LES 3 JOURS PRECEDENTS. 15
FIGURE 4 : RELATION ENTRE LE DEBIT DE L'YEVRE A SAVIGNYET LE NIVEAU DE LA NAPPE MESURE AU PIEZOMETRE D'OSMERY. UN POINT REPRESENTE UN JOUR. 16
FIGURE 5 : RELATION ENTRE LE DEBIT DE L'YEVRE A SAVIGNYET LE NIVEAU DE LA NAPPE MESURE AU PIEZOMETRE D'ETRECHY. UN POINT REPRESENTE UN JOUR « SANS PLUIE », C'EST A DIRE POUR LEQUEL IL N'A PAS PLU DURANT LES 3 JOURS PRECEDENTS. 16
FIGURE 6 : EVOLUTION DES SURFACES IRRIGUEES SUR LE TERRITOIRE DU SAGE ENTRE 1970 ET 2000 20
FIGURE 7 : EVOLUTION DES SURFACES IRRIGUEES SUR LE TERRITOIRE DU SAGE, 1995-2004, STATISTIQUES DE LA PAC 20
FIGURE 8 : PRELEVEMENTS EN EAU PAR USAGE SUR LE TERRITOIRE DU SAGE, DONNEES DE L'AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE (LES DONNEES POUR L'AEP ET L'INDUSTRIE NE SONT PAS DISPONIBLES AVANT 1998) 21
FIGURE 9 : PRELEVEMENTS EN EAU PAR USAGE EN PERIODE D'ETIAGE 22
FIGURE 10 : REPARTITION DES PRELEVEMENTS AGRICOLES PAR TYPE DE RESSOURCE EN EAU EXPLOITEE (DONNEES AGENCE DE L'EAU) 23
FIGURE 11 : INDICE DE PRESSION DE PRELEVEMENT AGRICOLE PAR SOUS-BASSIN 25
FIGURE 12 : ALIMENTATION DE FORAGES PAR DES FISSURES 34
FIGURE 13 : FREQUENCE DE RESPECT DE DEUX OBJECTIFS SUR L'AURON A L'ORMEDIOT AU MOIS D'AOUT EN CAS DE PRELEVEMENTS AGRICOLES NULS 39
FIGURE 14 : FREQUENCE DE RESPECT DE DEUX OBJECTIFS SUR L'YEVRE A SAVIGNY AU MOIS D'AOUT EN CAS DE PRELEVEMENTS AGRICOLES NULS 40
FIGURE 15 : FREQUENCE DE RESPECT D'OBJECTIFS DE GESTION SUR L'AURON, POUR DES PRELEVEMENTS NULS 49
FIGURE 16 : FREQUENCE DE RESPECT D'OBJECTIFS DE GESTION SUR L'YEVRE, EN FONCTION DU NIVEAU DE PRELEVEMENTS 50
FIGURE 17 : EVOLUTION DES PRELEVEMENTS AGRICOLES POUR LES POINTS DE PRELEVEMENTS CONSIDERES DANS L'APPROCHE DE CETTE SECTION (AURON ENTRE L'ORMEDIOT ET DUN, HORS POINTS DE PRELEVEMENT ELOIGNES DES COURS D'EAU) 51
FIGURE 18 : EVOLUTION DES PRELEVEMENTS AGRICOLES POUR LES POINTS DE PRELEVEMENTS CONSIDERES DANS L'APPROCHE DE CETTE SECTION (YEVRE A SAVIGNY, HORS AIRAIN ET HORS POINTS DE PRELEVEMENT ELOIGNES DES COURS D'EAU) 52
FIGURE 19 : DETERMINATION DE VALEURS REPERE A PLAIMPIED AU 1ER SEPTEMBRE 59
FIGURE 20 : CALENDRIER DE SYNTHESE DU DEROULEMENT D'UNE CAMPAGNE D'IRRIGATION DANS LE CADRE DE LA GESTION VOLUMETRIQUE PROPOSEE 80
FIGURE 21 : ABAQUE PROPOSE POUR L'ATTRIBUTION D'UN VOLUME D'EAU PAR EXPLOITATION. PRESENTATION GENERALE 86
FIGURE 22 : ABAQUE PROPOSE POUR L'ATTRIBUTION D'UN VOLUME D'EAU PAR EXPLOITATION. PRINCIPE D'UTILISATION. 87

TABLEAUX

TABLEAU 1 : CLASSEMENT DES ANNEES RECENTES (1970-2003) EN FONCTION DE LA PLUVIOMETRIE A LA STATION DE BOURGES (SUR LES ANNEES 1914-2003) 3
TABLEAU 2 : LES STATIONS DE MESURE HYDROLOGIQUES DU TERRITOIRE DU SAGE 5
TABLEAU 3 : POINTS DE PRELEVEMENT SUR LE TERRITOIRE DU SAGE 18
TABLEAU 4 : INDICE DE PRESSION DE PRELEVEMENT AGRICOLE PAR SOUS-BASSIN 26
TABLEAU 5 : DISTINCTION DE 2 GROUPES DE SOUS-BASSINS VERSANT EN FONCTION DU TYPE DE GESTION VOLUMETRIQUE A METTRE EN PLACE 31
TABLEAU 6 : DEBITS DES COURS D'EAU MODELISES AVEC ET SANS PRELEVEMENTS 36
TABLEAU 7 : EXPLICATION DES ETIAGES SUR L'AURON EN FONCTION DE LA PLUVIOMETRIE DE L'ANNEE 38
TABLEAU 8 : ESTIMATION DE L'ERREUR SUR LE CALCUL DU VOLUME LIEE AUX HYPOTHESES DE DEPART 45
TABLEAU 9 : INDICES DE PRESSION POUR LES SOUS-BASSINS DU GROUPE 1 53
TABLEAU 10 : FACTEURS CORRECTIFS DU VOLUME ATTRIBUE PAR SOUS-BASSIN, PRENANT EN COMPTE LA PRESSION DE PRELEVEMENT ACTUELLE 54
TABLEAU 11 : VOLUMES CONSOMMES PAR L'AGRICULTURE POUR L'ANNEE 1997 (EN MILLIERS DE M^3), ESTIMATION DE LA REPARTITION PAR MOIS ET CORRECTIONS EN FONCTION D'UN FACTEUR DE PRESSION 55
TABLEAU 12 : GRILLE DE LECTURE DE L'INDICATEUR POUR PLAIMPIED ET INDICE DE CONFIANCE 61

CARTES

CARTE 1 : CARTE DE SITUATION DU TERRITOIRE DU SAGE
CARTE 2 : CARTE DE LA PLUVIOMETRIE
CARTE 3 : CARTE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET DES POINTS DE PRELEVEMENT PAR USAGE
CARTE 4 : CARTE DES AQUIFERES ET DES STATIONS PIEZOMETRIQUES
CARTE 5 : CARTE DES BASSINS VERSANTS HYDROGEOLOGIQUES
CARTE 6 : CARTE DES POINTS DE PRELEVEMENT ET TYPE DE RESSOURCE EXPLOITEE
CARTE 7 : REGROUPEMENT UTILISE POUR L'ANALYSE DES VOLUMES PRELEVES.

Rédaction du rapport

Rédacteurs principaux	Sébastien Zanker & Marlies Schuttelaar
Autres rédacteurs	Damien Puygrenier
Relecteurs	Marc Boisson, Damien Puygrenier, Sébastien Zanker, Marlies Schuttelaar
Cartographie	Marlies Schuttelaar, Sébastien Zanker et Anne-Sophie Jardin

Contexte et objectif de l'étude

Le périmètre du SAGE Yèvre Auron, d'une superficie de près de 3 325 km^2, a été fixé par arrêté préfectoral le 7 août 2003 et concerne 126 communes réparties sur le département du Cher pour l'essentiel (121 communes) et sur celui de l'Allier. La pression exercée sur les ressources en eau en terme d'usages au cours des cinquante dernières années, combinée à la vulnérabilité de celle-ci, a abouti à une dégradation de la qualité des eaux et à une aggravation des étiages.

Déjà dans les années 80, des groupements d'agriculteurs avaient interrogé le BRGM quant à la possibilité de trouver de l'eau souterraine pour l'irrigation sur ce bassin relativement peu arrosé, qui dispose d'une certaine réserve en eau souterraine mais peu homogène. Il est apparu alors qu'il était possible localement de trouver des réserves d'eau, mais que les prélèvements importants pour l'irrigation se feraient nécessairement au détriment des débits des cours d'eau.

Les problèmes de débit des rivières en étiage sont devenus visibles surtout à partir de la sécheresse du début des années 90. En 1995 le Conseil Général a lancé une étude globale visant à réduire ces problèmes sur le bassin versant de l'Auron. L'étude approfondie de la CACG a alors conclu également au fait que les prélèvements à leur niveau de l'époque dans le bassin de l'Auron se faisaient nécessairement au détriment de celui-ci, non seulement en raison du volume pompé, mais également en raison du fait que la plupart des pompages, situés dans la vallée du cours d'eau, ont un impact assez direct sur son débit.

Dès 1996, le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) a permis d'initier les prémices d'une gestion concertée de l'eau sur le bassin Yèvre Auron en procédant au classement d'une grande partie de ses eaux souterraines en Nappe Intensément Exploitée (NIE) ou en Nappe réservée en priorité à l'Alimentation en Eau Potable (NAEP). Par ailleurs, ce bassin est classé en zone de répartition des eaux depuis 1995.

Depuis cette période, différentes études ont contribué à l'amélioration des connaissances sur les caractéristiques des nappes, des rivières et de leur fonctionnement, ainsi qu'à la recherche de ressources de substitution éventuelles.

Par ailleurs, sur l'initiative des irriguants de trois sous-bassins versants de l'Yèvre, une gestion volumétrique expérimentale des prélèvements a été mise en place, avec le soutien de la Chambre d'Agriculture et du syndicat des irriguants Yèvre Auron.

Les résultats obtenus ont ouvert la voie à une réflexion pour développer ce type d'approche. Ainsi, lors de sa première réunion en janvier 2004, la Commission Locale de l'Eau, instance en charge de l'élaboration du SAGE, a décidé de lancer une étude sur la mise en œuvre d'une gestion volumétrique à l'échelle du bassin Yèvre Auron.

L'objectif de cette étude est de fournir à la CLE tous les éléments nécessaires à la conduite d'une gestion volumétrique sur le périmètre du SAGE. Il s'agit notamment :

- d'établir un bilan détaillé des connaissances sur l'état de la ressource sur le bassin et sur les volumes prélevés pour les besoins des différents usages,
- de décrire le fonctionnement hydrogéologique du bassin, notamment les relations existantes entre la nappe et les rivières,
- de proposer des objectifs de débit en rivière et de déterminer un volume théoriquement exploitable permettant d'atteindre ces objectifs,
- de proposer, sur ces bases, plusieurs systèmes de gestion volumétrique envisageables pour l'irrigation
- et enfin, d'étudier les caractéristiques, le fonctionnement et la mise en œuvre d'outils de modélisation sur d'autres bassins français où une gestion volumétrique de la ressource en eau est appliquée, et ce afin de fournir à la CLE les éléments pour décider, ou non, de mettre en place un tel outil sur le bassin Yèvre Auron.

Préambule : qu'est-ce que la gestion volumétrique ?

Dans les bassins où des déséquilibres structurels ou conjoncturels existent entre la ressource disponible et les usages, notamment parce que la période d'étiage coïncide avec une pointe de la consommation, la gestion quantitative constitue une réponse majeure. Ont ainsi été mises en place toute une gamme de dispositions :

- le renforcement du dispositif réglementaire de police des eaux, et notamment la rénovation de la circulaire ad-hoc en 2004,
- l'instauration par sous-bassin de plans de gestion des étiages qui visent à établir des règles communes de partage des eaux et de gestion en vue de maintenir le débit nécessaire à la vie des rivières et le maintien des usages,
- l'établissement par sous-bassin de règles de gestion en période de pénurie (limitation ou suspension provisoire des usages de l'eau),
- la gestion et le contrôle des consommations individuelles ou collectives par la généralisation des compteurs d'eau,
- dans les bassins structurellement déficitaires, la création de réserves de soutien d'étiage et/ou des accords de déstockage de réservoirs hydroélectriques.
- Et enfin la mise en place par sous-bassin de gestion collective (quotas de prélèvement, tarification adaptée),

Malgré des avancées incontestables dans ce domaine, les facteurs à l'origine des tensions sur la ressource demeurent dans de nombreux bassins où les eaux de surface sont fortement sollicitées (Charente, Aveyron, Garonne et système de la Neste, etc.) : rivières à faible débit d'étiage s'aggravant en période de sécheresse, prélèvements supérieurs aux capacités naturelles et artificielles des bassins, nécessité d'un débit suffisant et de bonne qualité pour le bon état écologique de la rivière, d'autant plus souhaité que le territoire est attentif à son cadre de vie et tire de l'existence d'une eau de bonne qualité une activité économique créatrice de richesse et d'emplois (tourisme, loisirs, pêche, baignade, etc.).

Les réponses existantes aujourd'hui sont principalement de deux types :

- Les actions au niveau techniques : actions agronomiques sur les cultures, les assolements et les structures de production, amélioration des techniques d'irrigation, renforcement de la capacité locale de stockage (retenues collinaires) ou renforcement des transferts à partir de bassins où la ressource reste suffisante.

- La gestion collective : la loi sur l'eau de 1992 énonce un principe de subsidiarité. Une gestion équilibrée de l'eau doit se faire dans un cadre décentralisé au niveau collectif le plus approprié.

La procédure mandataire est un outil réglementaire qui permet de procéder au regroupement des demandes d'autorisation de prélèvements d'eau. Ce dispositif apporte une vision synthétique et globale des prélèvements : la MISE peut ainsi théoriquement ajuster comme le lui demandent les nouveaux décrets et circulaires police des eaux de septembre 2003, le montant du volume de prélèvement autorisé au volume des ressources disponibles pour cet usage.

Cette procédure est mise en œuvre de manière assez généralisée sur l'ensemble du territoire, mais **sans nécessairement qu'au préalable une réduction des volumes autorisés au prélèvement ne soit appliquée pour rester dans la limite des quantités disponibles**. Dans la pratique, les expériences existantes de réduction des volumes autorisés permettent de distinguer deux types de démarche :

- En l'absence d'une bonne connaissance de la ressource, seule la demande est gérée dans un premier temps : un volume d'eau limité est alors affecté par exploitation sur la base des cultures et des superficies cultivées. Cette démarche pragmatique ne permet cependant pas de bien mettre en relation la demande avec un objectif de bon état de la ressource. C'est le cas du système mis en place sur le sous-bassin du Colin-Ouatier-Langis sur le territoire du SAGE Yèvre Auron

- Lorsque la ressource est mieux connue, le volume autorisé sur chaque exploitation peut être ajusté au volume global disponible, de façon à assurer le bon équilibre entre ressource et besoins. C'est le cas du système mis en place sur la nappe de la Beauce. Des démarches d'amélioration des connaissances de la ressource peuvent permettre de réviser ce volume global qui n'est ainsi par figé dans le temps.

L'étude présentée ici apporte les bases pour la mise en place d'un ajustement des volumes autorisés pour l'irrigation sur le bassin Yèvre Auron, fondé sur la ressource disponible et des objectifs d'état de cette ressource.

Avant propos : limites de la portée de l'étude

Les résultats de la présente étude sont fondés sur l'exploitation des données de débit d'étiage des rivières du territoire du SAGE enregistrées pendant ces 30 dernières années. Ces débits sont largement influencés par l'état actuel et passé de la morphologique des rivières (largeur du lit, imperméabilité du fond et des berges…).

Si, comme il est souhaitable, des actions étaient menées dans l'avenir pour améliorer cet état morphologique, cela aurait vraisemblablement une influence positive sur les étiages, de par notamment un ralentissement de l'écoulement de la nappe vers les rivières.

Dans ces conditions, les conclusions présentées ici devraient être révisées. Une modélisation du système nappe-rivière, reproduisant la physique des phénomènes (voir section 7 de ce rapport) permettrait alors d'apporter des réponses intéressantes.

Résumé et conclusions du rapport

Partie 1 : bilan des connaissances sur l'état de la ressource

L'Auron à l'amont de l'Ormediot à Dun, l'Yèvre à l'amont de Savigny-en-Septaine, ainsi que leurs affluents l'Airain, l'Ouatier, le Colin, le Langis et la Rampenne, montrent des étiages très sévères. Par ailleurs, durant ces 15 dernières années, la fréquence, la sévérité et la durée de ces étiages se sont accentuées, même en comparaison avec des périodes climatiques comparables des 40 dernières années.

De façon générale, les données de débit minimum biologique (DMB) sur les cours d'eau restent trop peu nombreuses sur le territoire du SAGE et les valeurs existantes seraient à préciser. Ainsi, la discussion sur les étiages se reporte sur l'analyse statistique des séries de mesures de débits existantes, approche qui ne fournit pas de référence objective et ne permet pas de se référer à un bon état écologique du cours d'eau. Il serait intéressant par la suite de disposer de références plus nombreuses sur les débits nécessaires pour assurer la qualité du cours d'eau en tant que milieu naturel.

Les formations des calcaires de l'Oxfordien supérieur constituent l'aquifère le plus important du SAGE. L'eau n'y est contenue que par une perméabilité secondaire dans des fractures, des fissures, et des zones d'altération et de dissolution (principalement le long des vallées, où se concentrent les prélèvements). La circulation générale des eaux souterraines épouse assez bien dans l'ensemble la topographie du bassin et les limites des bassins versants hydrographiques. Les cours d'eau du bassin ne présentent pas de nappe alluviale d'importance ; même dans le cas de l'Yèvre, le fonctionnement de la nappe alluviale ne peut être distingué de celui des calcaires de l'Oxfordien sous-jacents.

Les interactions entre la nappe et les rivières sont fortes et parfois complexes. Globalement on observe pour tous les piézomètres, en raison de la faible capacité du milieu et des vitesses de circulation élevées, une grande amplitude des variations saisonnières, une grande sensibilité à la sécheresse et des recharges très fortes. Les vidanges peuvent être localement également très rapides, la vidange globale de la nappe suivant cependant une tendance de fond plus lente. L'aquifère capté au niveau des piézomètres de Plaimpied et de Rians présente des vidanges plus lentes et régulières par rapport à l'ensemble de la zone. Ces caractéristiques en feront dans la suite des meilleurs indicateurs pour prévoir l'évolution de la ressource à moyen terme.

Partie 2 : état des lieux des volumes prélevés pour les besoins des différents usages

Les prélèvements moyens sur le territoire du SAGE entre 1998 et 2003 sont de 28,1 Mm^3. Le maximum a été atteint en 1998 avec 33 millions de m^3. La part des prélèvements agricoles sur cette même période est de 15 millions de m^3 en moyenne. Leur variabilité explique quasiment à elle seule la variabilité des prélèvements totaux. Concentrés sur la période d'étiage, ils représentent alors entre 60% et 70%.

Les surfaces irriguées ont connu une croissance forte sur le territoire du SAGE dans les années 80 et sont passées de 3500 ha en 1978 à 11 500 ha en 2000. Depuis le milieu des années 90, elles se sont stabilisées.

Les plus grosses pressions de prélèvements agricoles se trouvent sur les bassins de la Rampenne et surtout du Colin-Ouatier-Langis (et en particulier de l'Ouatier). A l'inverse, les pressions sont faibles voire très faibles pour les bassins de l'Yèvre à l'aval de Bourges et de l'Auron amont (et de l'Airain amont).

D'un point de vue opérationnel pour la mise en place d'une gestion volumétrique, l'état des lieux a amené à distinguer deux groupes de sous-bassins, en considérant les différences de pression exercée par les prélèvements agricoles sur la ressource :

- **Groupe 1** : sur les sous-bassins sur lesquels la pression actuelle est forte, la gestion volumétrique consistera en un « partage » d'une ressource limitée
- **Groupe 2** : sur les autres sous-bassins, sur lesquels la pression de prélèvement actuelle reste suffisamment faible pour que le « partage » d'une ressource limitée n'ait pas encore de sens, il s'agira simplement d'attribuer un volume limité par exploitation agricole

Groupe	Type de gestion volumétrique	Sous-bassins concernés
Groupe 1	Partage d'un volume global limité entre les exploitations.	■ L'Auron entre Bourges et Dun-sur-Auron (lieu-dit le Chant), la Rampenne et l'Airain (à l'aval de Lugny) ■ L'Yèvre à l'amont de Bourges
Groupe 2	Attribution d'un volume limité par exploitation.	■ Le reste du bassin versant du SAGE Yèvre-Auron.

Partie 3 : une ressource fragile rendant délicats les prélèvements agricoles

Cette partie apporte des éléments de diagnostique complémentaires aux parties 1 et 2, notamment à travers une analyse plus détaillée de l'impact du climat sur les étiages et sur du rôle joué par les prélèvements.

L'étiage des cours d'eau s'explique par la combinaison de la recharge hivernale et printanière de la nappe avec les pluies d'été. Cet étiage est facilement aggravé par l'intensité des prélèvements, ce qui rend ces derniers délicats. Cependant, en l'absence d'une approche par modélisation, il reste difficile de distinguer par le seul traitement statistique des données, l'influence des prélèvements de celle des pluies. La corrélation entre les deux est en effet très forte.

La majorité des prélèvements est située à proximité des cours d'eau. Ces prélèvements, même pour les plus profonds, influent sur les écoulements entre la nappe et la rivière. Le phénomène « d'alimentation induite » permet d'estimer que globalement, à l'échelle du bassin, une proportion importante du volume prélevé par ces pompages proches provient en fait directement de la rivière. Cette proportion peut être évaluée entre 60% et 80%.

Pour les pompages plus éloignés, il reste difficile, en l'absence de modèle plus précis, de quantifier l'influence dans le temps des pompages sur les cours d'eau, bien que cette influence existe de façon certaine.

Partie 4 : détermination d'un volume exploitable par l'irrigation

La détermination d'un volume de référence exploitable sur le bassin Yèvre Auron pose la contradiction entre la notion de gestion d'un stock, sous-jacente derrière la notion de gestion volumétrique, et la réalité du bassin Yèvre Auron à savoir la gestion d'un débit, formé par les pluies, dépendant du climat et soutenu par un réservoir souterrain à vidange rapide et à faible inertie.

- La démarche proposée, fondée sur une approche statistique des débits, permet néanmoins, en l'absence de modélisation plus poussée, d'estimer des volumes de référence pour les sous-bassins du groupe 1.

Le résultat sur les volumes exploitables conduit à proposer deux approches :

- La première consiste à choisir de ramener tous les prélèvements à une année de référence (globalement et non individuellement), de façon à ce que les efforts réalisés sur tous les sous-bassins soient équivalents. Cette année de référence pourrait être 1997. Cela conduirait pour les sous-bassins du groupe 1, à un volume global de 6,3 Mm^3 pour juillet et août cumulés.

- La seconde consiste à tenir compte des différences de pressions de prélèvement entre les sous-bassins. Cela reviendrait à appliquer un facteur correctif à certains sous-bassins par rapport à une année de référence globale. Cela conduirait pour les sous-bassins du groupe 1 à un volume global de 4 Mm^3 pour juillet et août cumulés.

Les sous-bassins du groupe 2, pour lesquels la pression de prélèvement actuelle reste suffisamment faible pour que le « partage » d'une ressource limitée n'ait pas encore de sens, ne sont pas concernés ici.

Partie 5 : un indicateur d'état de la ressource disponible au 1er janvier ?

Si le semis du maïs est réalisé au printemps et l'irrigation de cette culture démarrée en général en juin, le choix des assolements sur l'exploitation est quant à lui fait dès l'hiver. Disposer à ce moment là d'indications sur l'état de la ressource permettrait d'appuyer la prise de décision.

Deux indicateurs d'état de la ressource ont été développés :

- L'un sur le piézomètre de Plaimpied, fondé sur un objectif de débit dans l'Auron de 210 l/s
- L'autre sur le piézomètre de Rians, fondé sur un objectif de débit dans l'Yèvre de 39 l/s et de 80 l/s

Chaque indicateur définit pour chaque mois trois classes de hauteur de nappe :

- La classe « haute » pour laquelle la situation est satisfaisante,
- La classe « basse » pour laquelle la situation est mauvaise
- La classe intermédiaire qui est une zone d'incertitude dans laquelle la situation de la rivière à l'étiage ne dépendra plus seulement du niveau de la nappe, mais également des pluies

Un indice de confiance vient compléter le dispositif : il permet de caractériser la fiabilité de l'information fournit par l'indicateur mois par mois.

Il ne s'avère pas possible de définir des indicateurs d'état de la ressource entièrement efficace au 1er janvier. Les 2 indicateurs peuvent cependant être utilisés en l'état pour une prévision de l'évolution de la ressource et une anticipation des mesures de restriction sur les prélèvements dès le printemps, voire dans certaines situations dès l'hiver (nappe très basse). Cet aspect opérationnel sera développé dans la partie 6. Cependant il est nécessaire de réviser les indicateurs périodiquement au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données.

Partie 6 : systèmes de gestion volumétrique envisageables sur le bassin Yèvre Auron

Le système de gestion volumétrique proposé s'appuie sur :

- La définition d'un volume d'eau de référence limité par sous-bassin, pour les sous-bassins du groupe 1, sur la base des conclusions de la partie 4.
- La définition d'un volume individuel mensuel par exploitation sur l'ensemble du territoire du SAGE à l'aide d'une clé de répartition tenant compte des surfaces et cultures irriguées, du débit des pompes sur l'exploitation et de la nature des sols. Cette clé, permet à la fois une répartition cohérente des volumes et la récompense des efforts réalisés par ceux qui réduisent leur surface irriguée.
- L'utilisation de 2 indicateurs piézométriques à Plaimpied et à Rians pour ajuster à la hausse ou à la baisse en fonction de l'état de la ressource les volumes individuels mensuels alloués par exploitation sur les sous-bassins du groupe 1
- L'utilisation de seuils de d'alerte et de crise en rivière pour ajuster à la baisse le cas échéant les volumes individuels mensuels.

Afin de mettre en place et de conduire ce processus de gestion volumétrique chaque année, il paraît essentiel qu'une structure porteuse soit définie.

Par ailleurs, un tel système, contraignant par rapport à la situation actuelle, pourra difficilement être mis en place du jour au lendemain. Il serait intéressant de prévoir une période de transition afin de passer progressivement du système actuel au système de gestion volumétrique. En effet, la réduction des volumes exploitables devra se traduire très concrètement au sein des exploitations soit par une modification progressive des assolements, soit par une amélioration de l'efficience de l'irrigation (par un travail sur le réglage du matériel ou le pilotage de l'irrigation par exemple). Si l'on a pu observer en général que l'amélioration du pilotage de l'irrigation pouvait conduire à des gains de 5% des volumes consommés, en revanche les actions sur le matériel d'irrigation lui-même ont pu apporter jusqu'à 30% d'économie d'eau.

Ces mutations et leurs nécessaires actions d'accompagnement prendront du temps, ce qui justifie une conversion progressive vers un système de gestion volumétrique plus contraignant. On peut par exemple envisager une diminution progressive du volume total alloué sur 5 années.

1 Bilan des connaissances sur l'état de la ressource

1.1 La pluviométrie : alternance de périodes sèches et humides marquées depuis 1970

1.1.1 Carte de la pluviométrie sur la zone du SAGE

La pluviométrie annuelle sur le territoire du SAGE présente une répartition qui suit globalement le relief. Les moyennes annuelles vont de 750-800 mm sur le bassin de l'Auron, en passant par 800-850 mm sur celui de l'Yèvre à l'amont de Bourges, à plus de 1000 mm sur les collines du Pays Fort (amont des bassins du Moulon et du Colin). Si les pluies annuelles présentent des différences d'un point à l'autre, les variations mensuelles observées sur l'ensemble des stations sont presque toujours homogènes.

En été, des orages localisés peuvent provoquer des différences ponctuelles de pluviométrie d'une station à une autre. Ces variations sont ressenties de façon importante en agriculture. Cependant, elles constituent des évènements très localisés à l'échelle de notre étude[1].

La station de Bourges sera utilisée dans la suite de l'étude pour caractériser les pluies sur la zone du SAGE. Si les totaux annuels peuvent être en réalité légèrement différents sur d'autres zones, les variations mensuelles restent équivalentes, ce qui est important à l'échelle de l'étude.

[1] On notera en particulier un fort orage sur l'amont du bassin de l'Auron en 1997, qui explique des différences importantes entre les niveaux de débits de l'Yèvre et de l'Auron cet été là.

1.1.2 Les années 1970-1995 : deux périodes sèches séparées par une période humide

Le classement des années 1970-2003 en fonction de leur pluviométrie à la station de Bourges est présenté dans le Tableau 1 page suivante.

Toutes les années de 1914 à 2003 ont été classées, soit 90 années. Chaque année est qualifiée selon son rang de classement de la manière suivante :

- Rang <10 = très sèche ; rang <30 = sèche ; rang < 35 = plutôt sèche
- Rang >80 = très humide ; rang >60 = humide ; rang >55 = plutôt humide

Les années sans mention particulière sont considérées comme normales (classées entre les rangs 35 et 55.) Le Tableau 1 présente les résultats à partir de l'année 1970.

Ainsi, depuis 1970, on distingue :

- une période 1970-1976 globalement sèche avec des étés humides en 1971 et 1972, et un automne humide en 1975 ;
- une période 1977-1988 globalement humide avec quelques étés secs (1982, 1986) et un hiver sec en 1987 ;
- une période de 1989 à 1993 globalement sèche avec un été très humide en 1992 ;
- une période plus contrastée de 1995 à 2003, sans grandes tendances.

Année	Classement de l'année selon la pluviométrie cumulée d'octobre de l'année précédente à septembre	Classement de l'année selon la pluviométrie cumulée de janvier à mars	Classement de l'année selon la pluviométrie cumulée de juin à août
1970		Très humide	
1971	Sèche	Sèche	Humide
1972	Sèche		Humide
1973	Sèche	Sèche	Sèche
1974	Sèche		Plutôt sèche
1975	Plutôt humide	Plutôt sèche	Sèche
1976	Très sèche	Sèche	Très sèche
1977	Très humide	Très humide	Très humide
1978	Plutôt humide	Très humide	Sèche
1979	Humide	Très humide	
1980	Humide	Humide	Plutôt humide
1981	Très humide	Très humide	Humide
1982	Plutôt humide	Plutôt humide	Sèche
1983	Très humide		Plutôt humide
1984			
1985	Humide		
1986		Humide	Sèche
1987		Sèche	Très humide
1988	Très humide	Très humide	
1989	Très sèche	Très sèche	
1990	Très sèche	Sèche	Très sèche
1991	Sèche	Sèche	
1992		Très sèche	Très humide
1993		Très sèche	Sèche
1994	Humide	Humide	
1995	Humide	Très humide	
1996	Plutôt sèche		Très sèche
1997		Très sèche	Humide
1998		Sèche	Très sèche
1999	Très humide	Très humide	Humide
2000	Humide	Sèche	Humide
2001	Très humide	Humide	Très humide
2002		Sèche	Très humide
2003	Humide		

Tableau 1 : classement des années récentes (1970-2003) en fonction de la pluviométrie à la station de Bourges (sur les années 1914-2003)

1.1.3 Les pluies efficaces

Les pluies efficaces sont les pluies qui participent, en partie, à la recharge de la nappe, le reste ruisselant vers les rivières. Leur calcul se fait à partir des données climatiques de pluie, d'ETP[2] et d'une estimation de la réserve moyenne en eau des sols (réserve utile.)

Le bilan réalisé à l'échelle de la zone d'étude (voir Annexe 8) permet d'estimer que ces pluies efficaces sont en moyenne de 215 mm par an. Cette estimation correspond à une réserve en eau du sol moyenne de 50 mm. Les pluies efficaces sont en général très faibles ou nulles en été.

1.2 Des rivières aux étiages sévères

1.2.1 Le réseau hydrographique du bassin de l'Yèvre

Le territoire du SAGE, d'une superficie de 3 325 km^2, englobe le bassin versant hydrologique de l'Yèvre jusqu'à Foëcy, où elle se jette dans le Cher, affluent de la Loire. L'Yèvre se forme à partir de différents ruisseaux au niveau de la commune de Baugy et s'écoule de l'est vers l'ouest.

L'Yèvre reçoit différents affluents en rive droite qui naissent à une altitude de 200, voire 300 m sur les hauteurs des collines viticoles du Pays-Fort, et s'écoulent globalement du nord au sud. Ces affluents sont le Villabon, le Colin, l'Ouatier, le Langis, le Moulon et le Barangeon.

Son affluent principal, l'Auron, se trouve en rive gauche. Celui-ci prend sa source au sud-est du bassin, sur les premiers contreforts du massif central pour s'écouler vers le nord-ouest et se jeter dans l'Yèvre à Bourges. Il est doublé sur une grande partie de sa longueur par le Canal de Berry qui, à partir de Bourges, longe l'Yèvre. L'Airain est un second affluent de l'Yèvre en rive gauche ; il s'écoule parallèlement à l'Auron pour se jeter dans l'Yèvre à Savigny-en-Septaine.

[2] ETP = Evapotranspiration Potentielle.

1.2.2 Les stations de mesure et le réseau de suivi des étiages

Les tableaux suivants présentent les stations de mesure disponibles sur le territoire du SAGE. On pourra localiser ces stations sur la Carte 3.

	Auron à l'Ormediot	Airain à Crosses	Yèvre à Savigny	Ouatier à Maubranche
Superficie du bassin versant	585 km^2	300 km^2	531 km^2	186 km^2
Années de mesure	1966-2005	1986-2005	1996-2005	2002-2004
Années complètes et validées disponibles	1969-1975 ;1978-1981 ;1983-1986 ;1989-2004	1988-1992 ;1994-2003	(débits provisoires) 2002 ; 2004	-

	Auron au Pondy	Moulon à Bourges	Yèvre à St Doulchard	Yèvre à Bourges	Yèvre à Foecy
Superficie du bassin versant	199 km^2	138 km^2	1750 km^2	1609 km^2	1970 km^2
Années de mesure	1989-2005	1994-2005	1967-1975	1999-2004	2000-2002
Années complètes et validées disponibles	1995 1989-2005 : provisoires	(débits provisoires) 2000-2002 ; 2004	1967-1975 (douteux)	(débits provisoires) 2002	(débits provisoires) 2001 – station abandonnée

Tableau 2 : les stations de mesure hydrologiques du territoire du SAGE

Il existe par ailleurs un certain nombre de jaugeages ponctuels effectués par la DIREN et la DDE (voir Annexe 1). Ces informations restent délicates à exploiter, en raison de leur caractère « instantané ».

On notera de plus que :

- La station de l'Yèvre à Bourges se trouve à l'aval d'un bras de décharge de l'Yèvre dans le Moulon. Cette décharge est opérée par un vannage par lequel s'écoule un débit non mesuré (voir schéma en Annexe 1)

- La station de l'Auron à Bourges pourrait être contournée depuis 2002 par un bras de décharge. Il semblerait néanmoins que ce bras ne soit pas en eau en période

d'étiage. Ces informations restent cependant à vérifier. De plus, l'étude ANTEA pour les captages du Porche (2004) a mis en évidence qu'une partie des eaux captées en profondeur au niveau du Porche provenait d'infiltrations de l'Auron en amont de l'Ormediot. L'étude a également montré que les captages n'influençaient pas ces infiltrations. Il est vraisemblable que, si ces infiltrations diminuent le débit mesuré à la station de l'Ormediot, cela reste vrai pour l'ensemble des années de mesure disponibles.

Il existe enfin un réseau départemental d'observation des écoulements (RDOE) assuré par le Conseil Supérieur de la Pêche. Il concerne 22 points sur l'ensemble de la zone SAGE. Les observations sont réalisées de façon ponctuelle selon un réseau présenté en Annexe 2.

1.2.3 Caractéristiques des étiages

Sur la base des mesures et des observations disponibles, les caractéristiques des étiages des différents cours d'eau du territoire du SAGE peuvent être décrites. Cette description complète est présentée en Annexe 2.

Les éléments de conclusion principaux en sont les suivants :

Il existe deux façons de caractériser le débit d'étiage d'un cours d'eau :

- La première s'appuie sur l'analyse du milieu pour définir un débit minimum biologique (DMB) : ce débit peut être considéré comme la limite en dessous de laquelle le risque de dégradation de l'écosystème s'accroît
- La seconde s'appuie sur l'analyse statistique de séries de mesures de débits pour déterminer des débits statistiques avec des fréquences de retour données, comme le débit quinquennal sec de récurrence 5 ans, ou QMNA5.

De façon général, les données de DMB restent trop peu nombreuses sur le territoire du SAGE et les valeurs existantes seraient à préciser. Ainsi, la discussion sur les étiages se reporte sur l'analyse statistique des débits, approche qui ne fournit pas de référence objective et ne permet pas de se référer à un bon état écologique du cours d'eau.

On se heurtera donc à cette limite dans la suite de l'étude lorsque l'on cherchera à définir des objectifs de débit en rivière. Il serait intéressant par la suite de disposer de références plus nombreuses sur les débits nécessaires pour assurer la qualité du cours d'eau en tant que milieu naturel.

Du point de vue des résultats, on retiendra que l'Auron à l'amont de l'Ormediot à Dun, l'Yèvre à l'amont de Savigny-en-Septaine, ainsi que leurs affluents l'Airain, l'Ouatier, le Colin, le Langis et la Rampenne, montrent des étiages très sévères. Par ailleurs, durant ces 15 dernières années, la fréquence, la sévérité et la durée de ces étiages s'est accentuée, même en comparaison avec des périodes climatiques comparables des 40 dernières années.

Enfin, certaines valeurs « repère » de débit seront utilisées et discutées tout au long de cette étude. Il est utile de garder en mémoire notamment que :

- Le débit quinquennal sec de récurrence 5 ans, ou QMNA5, est de 210 l/s sur l'Auron à l'Ormediot. Cette valeur est utilisée comme débit de crise dans l'arrêté cadre sécheresse. On constate que depuis les années 1970, son franchissement vers le bas permet effectivement de distinguer les années aux étiages sévères. Le débit minimum biologique calculé est quant à lui de 500 l/s. La morphologie actuelle du lit de la rivière, fortement modifiée et élargie, expliquerait cette valeur élevée. L'influence des prélèvements agricoles et les dérivations de l'Auron interviennent certainement également, mais dans une moindre mesure, pour expliquer la différence entre cette valeur et le QMNA5.

- Le QMNA5 de l'Yèvre à Savigny est de 39 l/s sur la période 1996-2003. En raison de la période d'observation disponible, ce chiffre semble sous-évalué. Une estimation de la DIREN conduit à une valeur de 80 l/s. Cependant, le débit de 39 l/s a été choisi comme débit de crise dans l'arrêté cadre sécheresse. Le franchissement par le bas de ces deux valeurs, 39 l/s ou 80 l/s, permet de bien mettre en évidence les années aux étiages sévères : le seuil de 80 l/s paraît cependant plus efficace dans ce rôle. Le débit minimum biologique quant à lui est évalué, à l'aval comme à l'amont de Savigny-en-Septaine, à 80 l/s.

1.3 Une nappe aux variations très rapides

1.3.1 Le rôle important du réservoir des calcaires de l'Oxfordien supérieur

Le territoire du SAGE est situé au sud du Bassin parisien. Les couches géologiques successives s'appuient sur les contreforts du Massif Central pour plonger vers le nord-ouest. Elles affleurent sous forme de cercles concentriques du sud-est (couches les plus anciennes) vers le nord-ouest (couches les plus récentes) comme on peut le voir sur la Carte 4.

On trouve différents réservoirs aquifères potentiels : du plus ancien au plus récent, les calcaires du Lias inférieur, les calcaires du Dogger, les calcaires de l'Oxfordien supérieur et de la base du Kimméridgien, les calcaires du Berry, les calcaires du Tithonien, et des formations sableuses au nord-ouest du secteur, aux confins de la Sologne. Toutes ces formations sont généralement séparées par des bancs argileux ou marneux plus ou moins épais et imperméables.

Enfin, on trouve aux alentours de Marmagne et de Levet deux unités de dépôts sédimentaires plus tardifs de l'Eocène (aire Tertiaire), les calcaires lacustres du Berry.

Les formations sédimentaires du Jurassique sont constituées par une succession de dépôts de marnes ou argiles et de calcaires. Les réservoirs aquifères correspondent aux bancs calcaires. Ceux-ci sont pourtant presque toujours compacts, intrinsèquement imperméables. L'eau ne peut être contenue que par une perméabilité secondaire dans des fractures, fissures, voire du karst, qui sont liés à des accidents structuraux (failles, anticlinaux) et des zones d'altération et de dissolution (principalement le long des vallées).

Il arrive que, sous certains faciès, le calcaire présente une porosité et une perméabilité primaire : c'est le cas des calcaires récifaux et des calcaires oolithiques, graveleux ou pisolithiques. Le calcaire est alors sous forme de grains, de sphérules, et présente donc une porosité comme un sable. L'extension de ces faciès est cependant très limitée.

Les bancs marneux et argileux du Kimméridgien supérieur, Oxfordien inférieur et Lias supérieur constituent autant d'écrans hydrauliques qui séparent les réservoirs.

Une description détaillée de l'ensemble des aquifères de la zone du SAGE est présentée en Annexe 3. On en retiendra les conclusions suivantes :

- Les formations qui nous intéressent ici sont les calcaires de l'Oxfordien supérieur, car ce sont celles où sont principalement prélevées les eaux pour l'irrigation sur le territoire du SAGE, et celles également qui sont en interaction avec les cours d'eau souffrant de problèmes d'étiage sévères.
- Les calcaires lacustres du Berry, partiellement en lien hydraulique avec l'Oxfordien supérieur et en interaction avec le réseau hydrographique du bassin de l'Auron, pourront être rattachés au réservoir des calcaires de l'Oxfordien supérieur.

1.3.2 Délimitation des bassins versants souterrains

La circulation générale des eaux souterraines épouse assez bien dans l'ensemble la topographie du bassin et les limites des bassins versants hydrographiques. Cela peut être mis en évidence à partir des cartes piézométriques établies par IWACO en 2000 (IWACO, 2000). Ainsi, les cours d'eau drainent généralement la nappe, sauf localement lorsqu'ils sont à sec : le niveau de la nappe devient alors inférieur au niveau du fond du cours d'eau. Cependant, la nappe continue à s'écouler selon le thalweg alors même que le cours d'eau est à sec.

Fonctionnement particulier du bassin de l'Airain

On notera une exception d'importance à ce fonctionnement général. Ainsi, l'étude CACG (CACG, 1996) a montré que la nappe du bassin hydrographique de l'Airain serait drainée par l'Auron en basses eaux. Ce phénomène a été confirmé par l'étude IWACO en 2001. Il justifiera dans la suite de l'étude que le bassin de l'Airain soit rattaché au bassin de l'Auron.

1.3.3 Les stations de mesure existantes

Les séries de mesures continues de niveau des nappes proviennent de réseaux de mesures piézométriques qui ont historiquement été établis en deux phases :

- un réseau créé par le BRGM dans les années 70, et arrêté en 1992. Les piézomètres suivis dans le bassin étaient : Vornay, Levet, Osmoy et Brécy.
- le réseau régional a été mis en place entre 1993 et 1995 par la région Centre, avec la maîtrise d'œuvre de la DIREN. Les piézomètres sont équipés d'un système de télésuivi. Les données sont disponibles sur le serveur « Réseau Piézométrique Centre » http://piezocentre.brgm.fr.

L'inventaire et les principales caractéristiques de ces stations piézométriques sont présentées en Annexe 3. On pourra également les localiser sur la Carte 4.

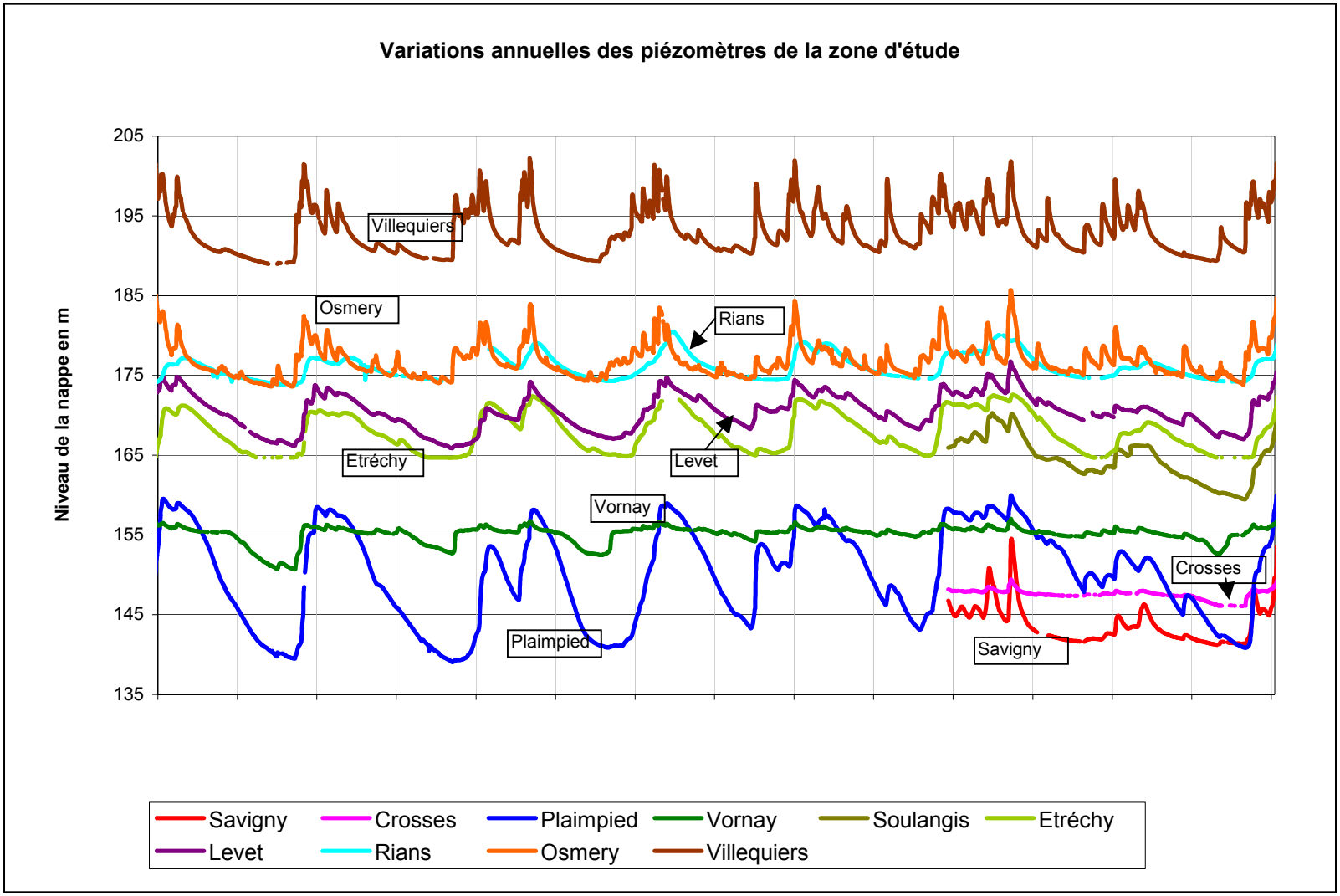


Figure 1 : évolution des différents piézomètres de la zone d'étude

1.3.4 Dynamique annuelle de la nappe des calcaires de l'Oxfordien supérieur : des recharges et des vidanges rapides

Globalement on observe pour tous les piézomètres, en raison de la faible capacité du milieu et des vitesses de circulation élevées, une grande amplitude des variations saisonnières, une grande sensibilité à la sécheresse et des recharges très fortes (figure page précédente). Les réactions avec la pluviométrie sont très rapides, et l'on peut observer des recharges avec les pluies de printemps ou d'été (Annexe 3, section 5). A proximité des cours d'eau permanents, les variations sont moins fortes ; cependant certains cours d'eau sont sujets à des assecs et leur niveau n'est donc pas limitant pour celui de la nappe. Cette dernière est alimentée à la fois par une infiltration très rapide des pluies, le calcaire étant souvent à nu, et probablement également par infiltration locale des cours d'eau.

Le comportement de la nappe enregistré par chaque piézomètre est discuté en Annexe 3. Les principales conclusions sont les suivantes :

- L'aquifère capté au niveau du piézomètre de Plaimpied présente des variations annuelles importantes (20 m), des recharges rapides mais des vidanges plus lentes et régulières par rapport à l'ensemble de la zone. Nous verrons dans la suite que cela en fera un meilleur indicateur pour la prévision de l'évolution de la ressource. Par ailleurs, le piézomètre de Plaimpied sera préféré à celui de Levet en raison d'une chronique de données plus longue (1988-2004).

- Le piézomètre de Rians présente des caractéristiques similaires à celui de Plaimpied, bien que présentant des vidanges un peu plus rapides. Il sera préféré aux autres piézomètres de la même zone en raison d'une chronique de données assez longue (1996-2004) et d'un biais pour les données de basses eaux à Etréchy.

- Le piézomètre de Vornay présente un comportement particulier lié à la présence de l'Airain à proximité : la recharge est limitée par le niveau du sol et celui de la rivière en hiver et au printemps ; un « décrochage » du niveau de la nappe peut intervenir alors brusquement au cours de l'été. Le piézomètre de Vornay sera préféré à celui de Crosses pour la suite de l'étude en raison de sa longue chronique de données disponible depuis l'année 1980.

- Enfin, le piézomètre d'Osmery montre des variations très brusques lors des épisodes de recharge et de vidange, ce qui caractérise un milieu où les circulations d'eau sont très rapides. A l'inverse du piézomètre de Plaimpied, nous verrons que

cette caractéristique en fera un mauvais indicateur pour prévoir l'évolution de la ressource. Il sera par ailleurs préféré aux piézomètres de Villequiers et de Savigny en raison de sa plus longue chronique de données et de sa position intermédiaire entre les bassins de l'Yèvre et de l'Auron.

1.4 Des rivières en relation forte avec la nappe

Les cours d'eau du secteur circulent alternativement sur des formations imperméables et sur des formations calcaires plus perméables. Les secteurs amont de l'Auron et des affluents nord de l'Yèvre sont à dominante imperméable, et les cours d'eau y sont principalement alimentés par ruissellement de surface. On trouve de nombreuses retenues collinaires sur ces secteurs amont.

Les cours d'eau du bassin ne présentent pas de nappe alluviale d'importance ; même dans le cas de l'Yèvre, le fonctionnement de la nappe alluviale ne peut être distingué de celui des calcaires de l'Oxfordien sous-jacents. Lorsqu'on parle de « nappe d'accompagnement de l'Auron », il s'agit donc des calcaires de l'Oxfordien supérieur.

Des phénomènes singuliers de circulation d'eau entre la nappe et les rivières peuvent exister. On remarquera notamment que :

- des traçages ont montré que l'Ouatier était une résurgence du Colin, qui s'infiltre aux Aix-d'Angillon pour resurgir à Valentigny.
- L'étude CACG (1996) a mis en évidence, grâce à des jaugeages, des phénomènes locaux d'infiltration des eaux de l'Auron vers la nappe.
- L'étude ANTEA pour les captages du Porche a également mis en évidence le fait qu'une partie des eaux captées provenait d'infiltrations de l'Auron. ANTEA a par contre montré qu'il n'y avait pas de liaison hydraulique forte entre l'Auron et la nappe captée dans l'environnement du champ captant du Porche.

La plupart des prélèvements d'eau ont lieu dans les thalwegs, que ce soit en nappe alluviale ou en nappe libre. Ces pompages peuvent amener la circulation de l'eau à s'inverser depuis la rivière vers la nappe, et conduire à un assèchement des cours d'eau (voir paragraphe 3.1.1).

On peut distinguer sur les graphiques des pages suivantes (et les graphiques complémentaires présentés en Annexe 3) des piézomètres dont les variations sont fortement similaires aux variations de débit en rivière (Crosses, Vornay, Savigny) et

d'autres moins (Plaimpied, Rians, Etréchy). En cherchant à établir plus précisément les corrélations entre les niveaux journaliers mesurés dans la nappe et en rivière (voir Annexe 3), on peut distinguer trois types de relations entre les niveaux piézométriques et les débits :

- Les piézomètres situés à proximité des cours d'eau montrent une excellente corrélation entre le niveau mesuré dans la nappe et le débit du cours d'eau au même instant. La rivière et la nappe sont alors extrêmement liées, l'une influençant l'autre, et vice-versa, de manière très rapide. C'est le cas des piézomètres de Crosses et Vornay avec la rivière Airain ou du piézomètre de Savigny avec l'Yèvre (Figure 2 et Figure 3).

- Certains piézomètres plus éloignés montrent également une bonne corrélation instantanée, bien qu'un peu moins que les précédents. Il s'agit des piézomètres déjà identifiés comme étant situés dans des niveaux aux recharges et vidanges très rapides (Osmery, Villequiers) (Figure 4). Après un épisode pluvieux, leur vidange rapide influence immédiatement le débit en rivière. En dehors de ces épisodes, ils assurent un débit de base à la rivière et leur vidange suit une tendance de fond plus caractéristique de l'ensemble de la nappe.

- Enfin, les piézomètres de Plaimpied, Rians ou Etréchy (Figure 5) présentent une assez mauvaise corrélation instantanée entre les niveaux mesurés et les débits en rivière. Ils se situent plus loin du cours d'eau et captent des niveaux dans lesquels l'aquifère montre une plus grande inertie. En contrepartie, il est possible d'établir des corrélations entre le débit de la rivière et le niveau mesuré par ces piézomètres quelques mois auparavant.

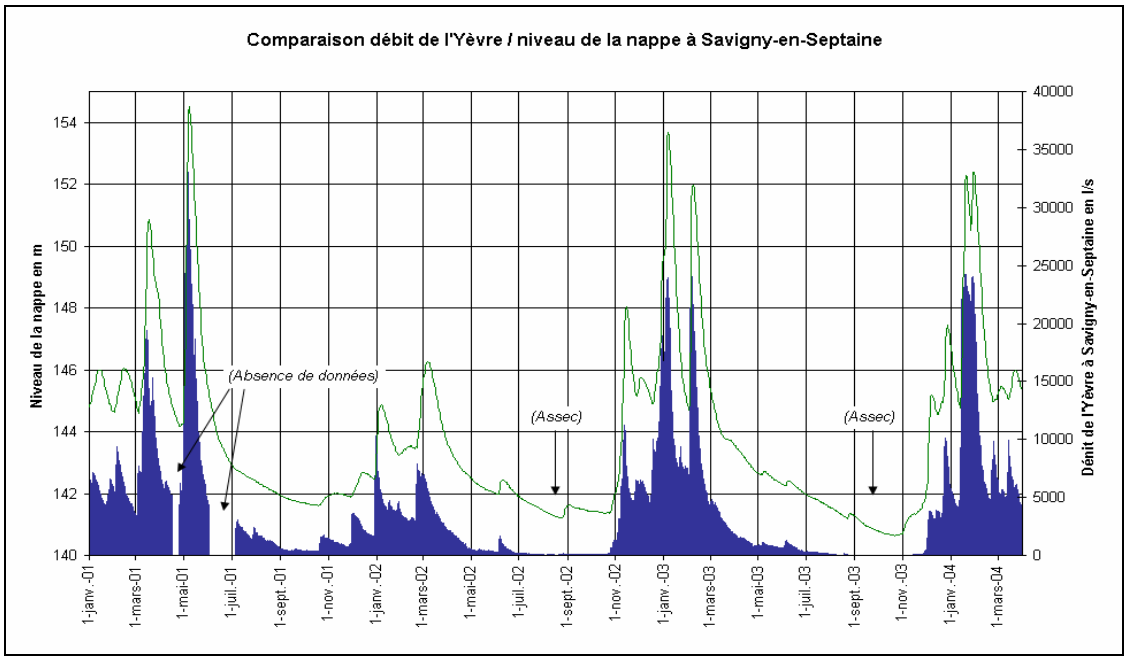


Figure 2 : relations entre la nappe et l'Yèvre à Savigny-en-Septaine

On compare le niveau de la nappe mesuré sur le plateau, à environ 1900 m à vol d'oiseau de la station hydrométrique sur l'Yèvre, au débit de l'Yèvre, le lit de l'Yèvre se situant à 139 m d'altitude environ. L'Yèvre est à sec quand le niveau de la nappe passe en dessous des 141 m environ.

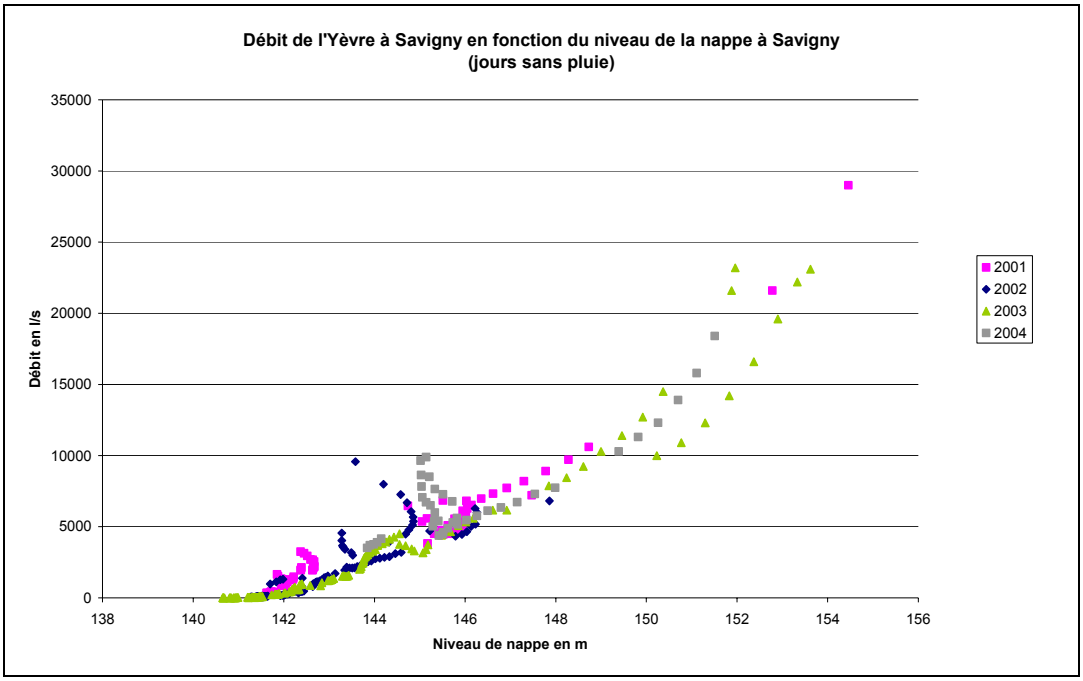


Figure 3 : relation entre le débit de l'Yèvre à Savigny et le niveau de la nappe mesuré au piézomètre de Savigny. Un point représente un jour « sans pluie », c'est à dire pour lequel il n'a pas plu durant les 3 jours précédents.

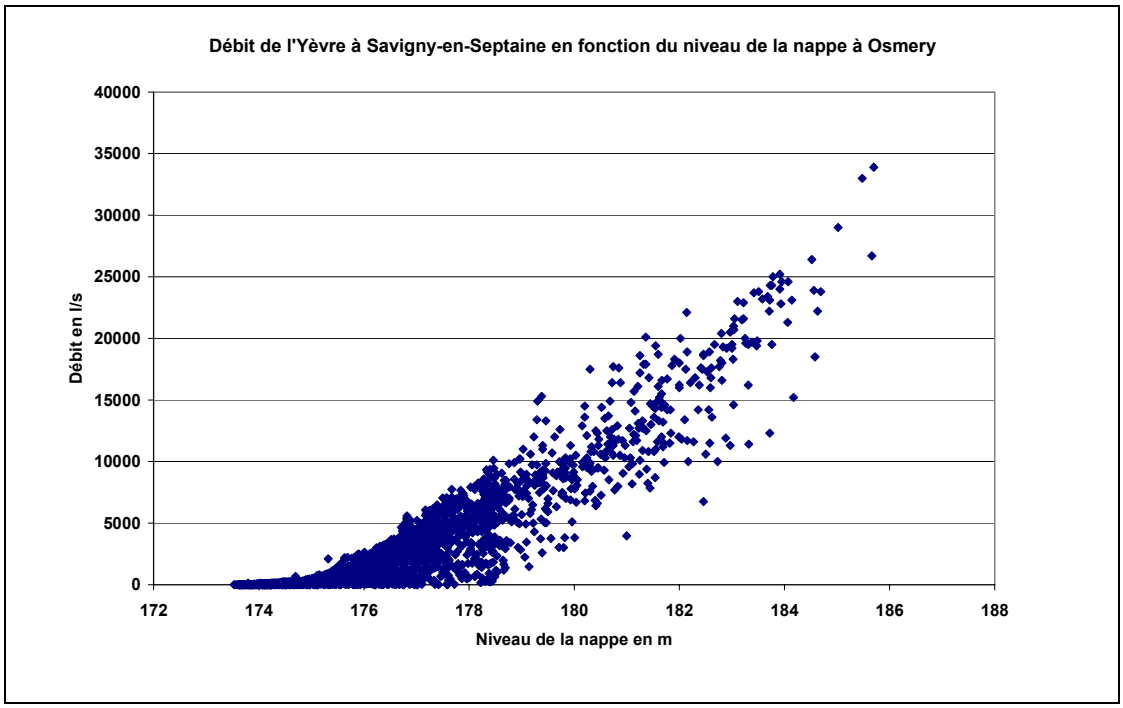


Figure 4 : relation entre le débit de l'Yèvre à Savigny et le niveau de la nappe mesuré au piézomètre d'Osmery. Un point représente un jour.

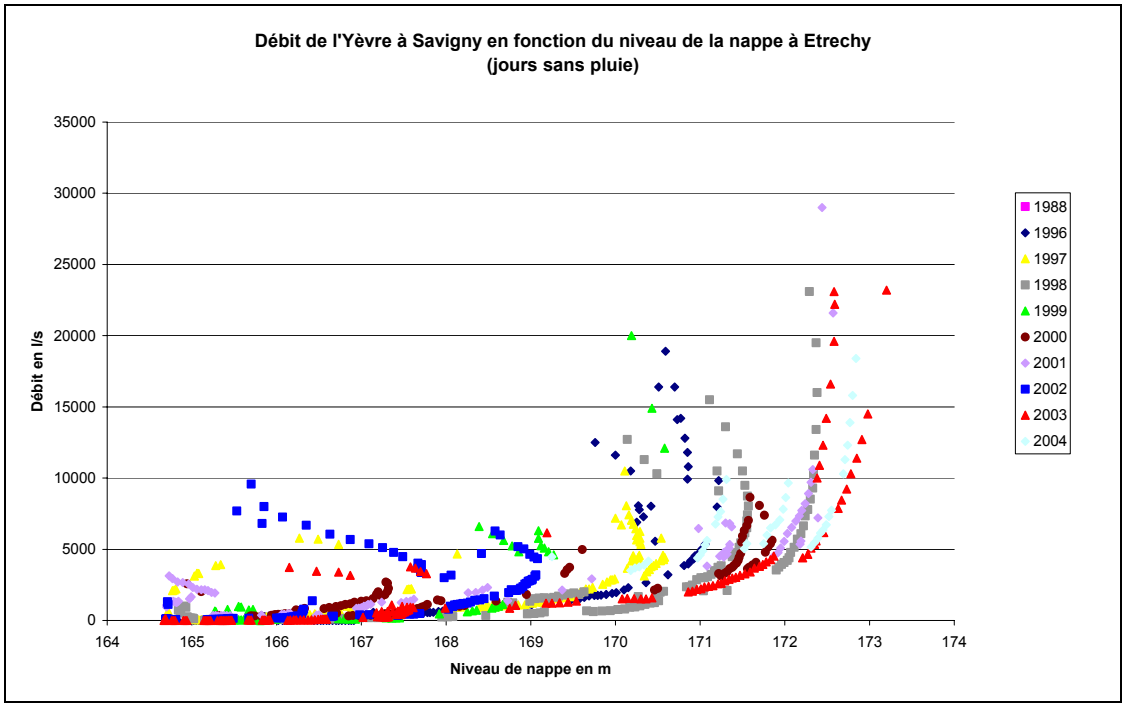


Figure 5 : relation entre le débit de l'Yèvre à Savigny et le niveau de la nappe mesuré au piézomètre d'Etréchy. Un point représente un jour « sans pluie », c'est à dire pour lequel il n'a pas plu durant les 3 jours précédents.

1.5 Conclusion de la partie 1

L'Auron à l'amont de l'Ormediot à Dun, l'Yèvre à l'amont de Savigny-en-Septaine, ainsi que leurs affluents l'Airain, l'Ouatier, le Colin, le Langis et la Rampenne, montrent des étiages très sévères. Par ailleurs, **durant ces 15 dernières années, la fréquence, la sévérité et la durée de ces étiages se sont accentuées**, même en comparaison avec des périodes climatiques comparables des 40 dernières années.

De façon générale, **les données de débit minimum biologique (DMB) sur les cours d'eau restent trop peu nombreuses** sur le territoire du SAGE et les valeurs existantes seraient à préciser. Ainsi, la discussion sur les étiages se reporte sur l'analyse statistique des séries mesures de débits existantes, approche qui ne fournit **pas de référence objective** et ne permet pas de **se référer à un bon état écologique du cours d'eau**. On se heurtera donc à cette limite dans la suite de l'étude lorsque l'on cherchera à définir des objectifs de débit en rivière. Il serait intéressant par la suite de disposer de références plus nombreuses sur les débits nécessaires pour assurer la qualité du cours d'eau en tant que milieu naturel.

Les formations des calcaires de l'Oxfordien supérieur constituent l'aquifère le plus important du SAGE. L'eau n'y est contenue que par une **perméabilité secondaire dans des fractures, des fissures, et des zones d'altération et de dissolution (principalement le long des vallées, où se concentrent les prélèvements)**. La circulation générale des eaux souterraines épouse assez bien dans l'ensemble la topographie du bassin et les limites des bassins versants hydrographiques. Les cours d'eau du bassin ne présentent pas de nappe alluviale d'importance ; même dans le cas de l'Yèvre, le fonctionnement de la nappe alluviale ne peut être distingué de celui des calcaires de l'Oxfordien sous-jacents.

Les **interactions entre la nappe et les rivières sont fortes et parfois complexes**. Globalement on observe pour tous les piézomètres, en raison de la faible capacité du milieu et des vitesses de circulation élevées, une grande amplitude des variations saisonnières, une grande sensibilité à la sécheresse et des recharges très fortes. Les vidanges peuvent être localement également très rapides, la vidange globale de la nappe suivant cependant une tendance de fond plus lente. L'aquifère capté au niveau du **piézomètre de Plaimpied** présente des vidanges plus lentes et régulières par rapport à l'ensemble de la zone. Le **piézomètre de Rians** présente des caractéristiques similaires à celui de Plaimpied, bien que présentant des vidanges un peu plus rapides. Ces caractéristiques en feront dans la suite des **meilleurs indicateurs pour prévoir l'évolution de la ressource à moyen terme**.

2 Etat des lieux des volumes prélevés pour les besoins des différents usages

2.1 Inventaire des ouvrages de prélèvement

L'inventaire des ouvrages de prélèvement sur le territoire du SAGE a été réalisé à partir des données de l'Agence de l'Eau et de la DDAF (police de l'eau). La démarche appliquée pour réaliser ce croisement est décrite en Annexe 4.

On dénombre en tout 324 points de prélèvements recensés et actifs sur le territoire du SAGE (Tableau 3).

Points de prélèvements inactifs depuis 1996	Points de prélèvement actifs au moins une fois entre 1996 et 2004		
64	Localisés[3] à partir des informations de la Police de l'Eau	Localisés à partir de la carte IGN	Localisés sur la commune de prélèvement
	226	27	71
	324		

Tableau 3 : points de prélèvement sur le territoire du SAGE

Ces points de prélèvement sont reportés sur la Carte 3, en fonction de leur type (irrigation, AEP, industrie) et sur la Carte 6, en fonction de la ressource utilisée (nappe libre, superficielle, cours d'eau ou retenue).

Le croisement des données disponibles auprès de l'Agence de l'Eau et de celles fournies par la Police de l'Eau présente des difficultés importantes. En effet, il n'existe aucun identifiant commun aux points de prélèvement entre les deux bases de données. Ce croisement est pourtant indispensable car si les données de l'Agence de l'Eau fournissent les volumes prélevés pour chaque point de captage, elles ne permettent pas de situer précisément ces points. Le fichier de la Police de l'Eau quant

[3] On entend par « localisé » un point positionné en X et Y. Lorsqu'un point est localisé « sur la commune de prélèvement », cela signifie qu'il est positionné sur le centroïde de la commune.

à lui indique la position géographique de ces points (coordonnées) mais ne précise pas les volumes prélevés…

L'observation de la carte des prélèvements, croisée avec la description de la ressource réalisée en section 1, a conduit à distinguer plusieurs sous-bassins[4] pour décrire l'état des lieux des prélèvements (Carte 7). On verra au cours de cette nouvelle partie que ce découpage permet de bien mettre en évidence les différentes tendances existantes sur le territoire du SAGE.

2.2 Evolution des volumes prélevés par usage au cours des 30 dernières années

2.2.1 Croissance forte des surfaces irriguées en 20 ans et stabilisation depuis 10 ans

Les surfaces irriguées ont connu une croissance forte sur le territoire du SAGE depuis la fin des années 70 en passant de 3500 ha en 1978 à 11 500 ha en 2000 (données du Recensement Général Agricole) (Figure 6). Cette croissance est surtout marquée dans les années 80.

Depuis le milieu des années 90, les cultures irriguées se sont stabilisées, comme le montrent les statistiques de la PAC (Figure 7). Le maïs a connu une légère diminution (-11%) au profit de cultures de printemps (orge).

[4] le tronçon de l'Auron à l'aval de la confluence de la Rampenne est également rattaché à ce secteur afin de ne pas le rendre orphelin. En effet pour pouvoir rapporter les données sur les prélèvements aux mesures de débits à la station de l'Ormediot, les prélèvements situés à l'aval de cette station doivent être considérés indépendamment

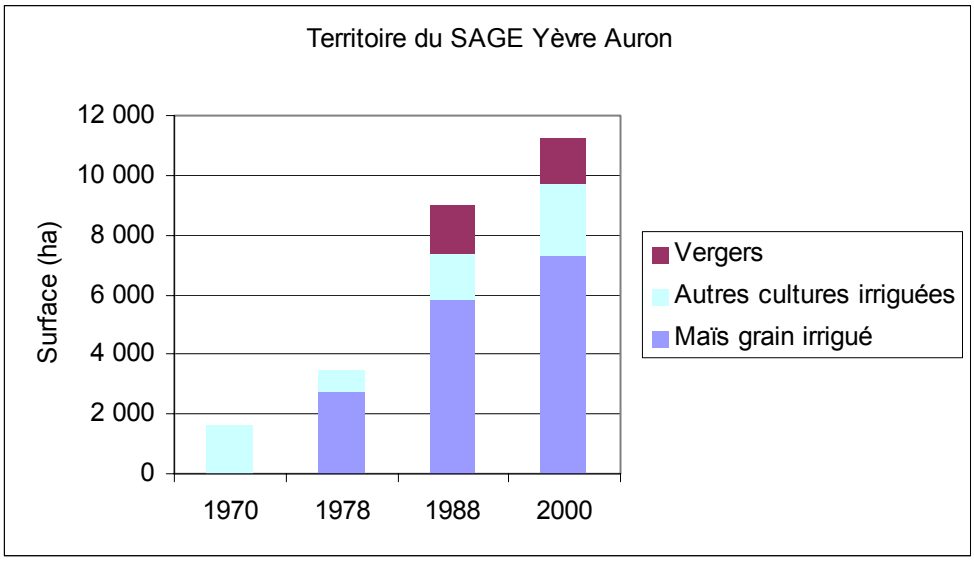


Figure 6 : évolution des surfaces irriguées sur le territoire du SAGE entre 1970 et 2000

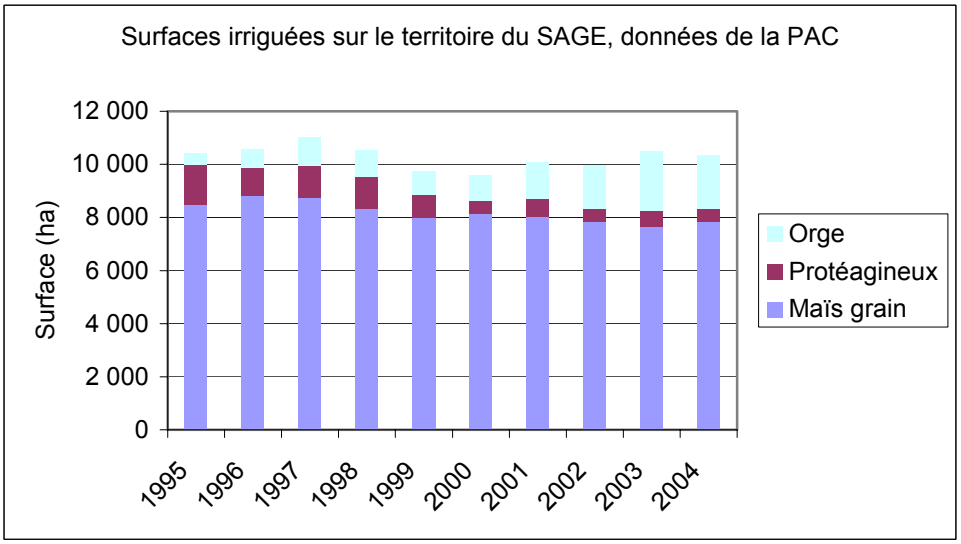


Figure 7 : évolution des surfaces irriguées sur le territoire du SAGE, 1995-2004, statistiques de la PAC

On notera certaines limites à l'exploitation des deux sources de données utilisées (RGA et déclarations PAC). Les surfaces sont par exemple déclarées à la commune du siège de l'exploitation, ce qui peut entraîner certaines erreurs. Toutes les cultures ne sont par ailleurs pas recensées par les statistiques de la PAC (car toutes ne sont pas éligibles aux primes, comme les vergers par exemple). Ces limites, et d'autres plus secondaires, expliquent les différences observées entre ces deux sources de données. Leur exploitation reste cependant tout à fait valide pour mettre en évidence les principales tendances à l'échelle du territoire du SAGE et de ses sous-bassins.

2.2.2 Part des prélèvements domestiques, agricoles et industriels

2.2.2.1 Comparaison des usages

Les prélèvements moyens sur le territoire du SAGE entre 1998 et 2003 sont de 28,1 millions de m^3. Le maximum a été atteint en 1998 avec 33 millions de m^3.

La part des prélèvements agricoles sur cette même période est de 15 millions de m^3 en moyenne. Leur variabilité explique quasiment à elle seule la variabilité des prélèvements totaux. Ainsi en 1998 ils ont été de 19,3 millions de m^3 et seulement de 10,7 millions de m^3 en 2001.

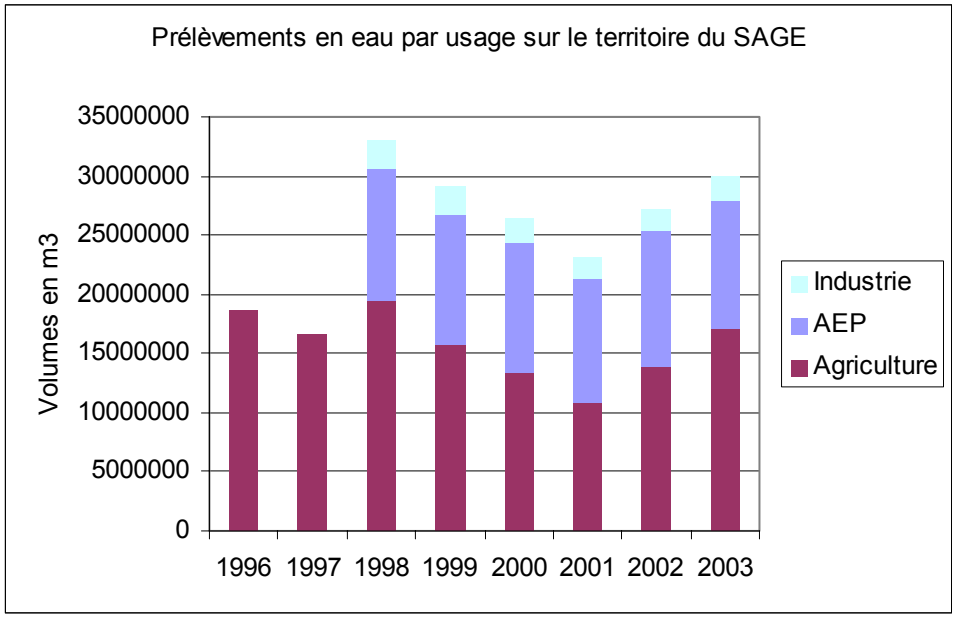


Figure 8 : prélèvements en eau par usage sur le territoire du SAGE, données de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne (les données pour l'AEP et l'industrie ne sont pas disponibles avant 1998)

Les prélèvements pour l'eau potable sont stables, autour de 11 millions de m^3, dont 6,5 millions en période d'étiage[5]. Ils se concentrent essentiellement sur l'agglomération de Bourges (5,2 millions de m^3) et dans la vallée de l'Yèvre à l'aval de cette ville.

[5] La définition de la période d'étiage au sens des données de l'Agence de l'Eau est la suivante : eaux souterraines = du 1er avril au 31 octobre, eaux superficielles = du 1er mai au 30 novembre

La part des prélèvements industriels reste assez faible à l'échelle du territoire du SAGE (2,1 millions de m^3). Ils sont répartis entre les bassins de l'Yèvre à l'aval de Bourges, de l'Yèvre moyenne (entre Savigny-en-Septaine et Bourges) et du Moulon.

On notera les limites liées à l'exploitation des données de prélèvement de l'Agence de l'Eau, limites principalement liées à la précision de leur rattachement géographique (voir remarque ci-dessus sur le croisement des données).

2.2.2.2 Précisions sur les prélèvements agricoles

Ces considérations à l'échelle annuelle doivent être modulées par le fait que les prélèvements agricoles sont répartis uniquement sur quelques mois de l'année.

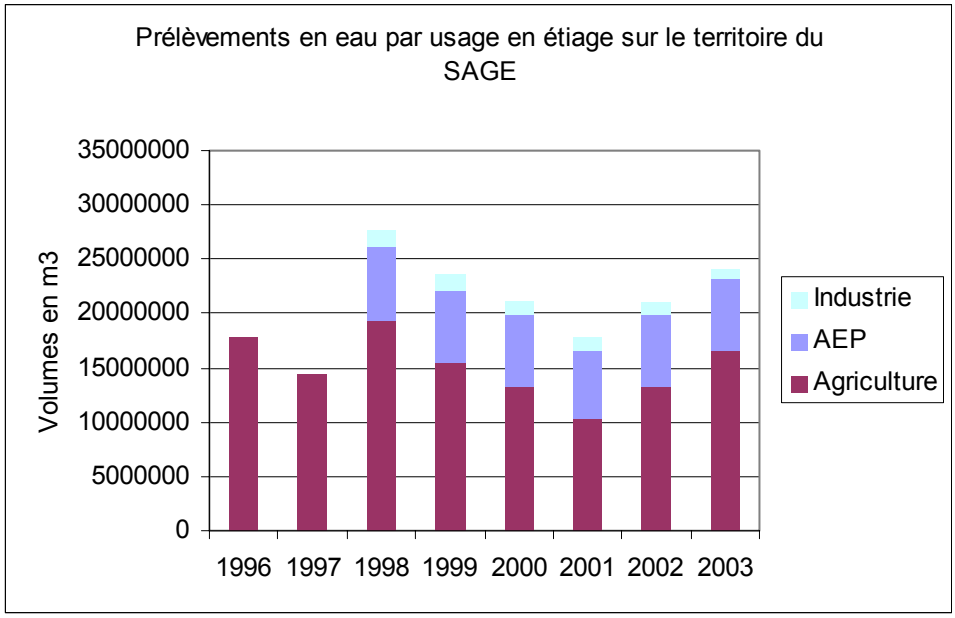


Figure 9 : prélèvements en eau par usage en période d'étiage

Ainsi la part des prélèvements agricoles en étiage est en général très dominante (de 58% en 2001 à 70% en 1998).

Par ailleurs, l'influence des prélèvements agricoles est accentuée par le fait que la majorité des volumes prélevés sont en fait consommés par les plantes, alors qu'une part importante des prélèvements à usage industriel ou domestique retourne au milieu naturel (avec une qualité en général dégradée).

Les données de la Chambre d'Agriculture sur le bassin Colin-Ouatier-Langis ont permis d'établir la répartition mensuelle suivante (voir Annexe 5) :

- Avant le mois de juin : 30%
- Juin : 13%
- Juillet : 34%
- Août : 23%

Ces prélèvements s'effectuent en majorité en nappe libre (70%) (Figure 10). Les retenues collinaires (22%) sont principalement concentrées sur le bassin du Moulon, de l'Auron à l'amont du Pondy et de l'Yèvre aval.

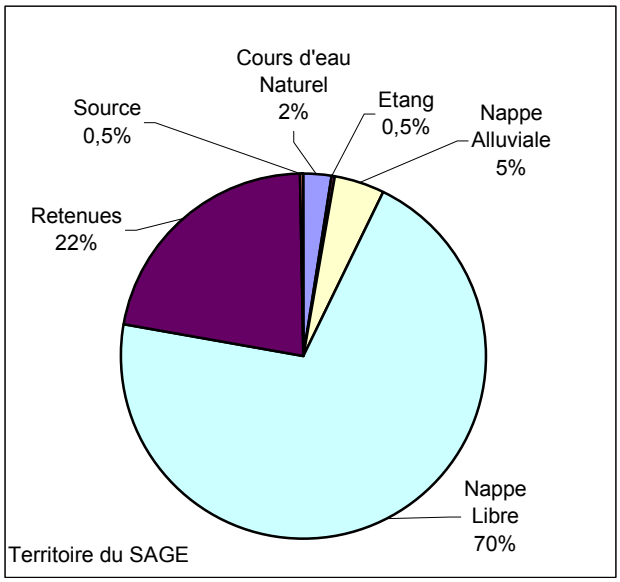


Figure 10 : répartition des prélèvements agricoles par type de ressource en eau exploitée (données Agence de l'Eau)

Pour les besoins de l'étude, les prélèvements agricoles ont été extrapolés jusqu'à l'année 1970 sur certains bassins. Cette extrapolation s'appuie sur l'évolution des surfaces irriguée, présentée plus haut, et sur une bonne corrélation entre les pluies estivales et les doses d'irrigation. Les résultats sont présentés en Annexe 5.

2.2.3 Une variabilité importante de la pression des prélèvements par sous-bassin

2.2.3.1 Fiche de synthèse par sous-bassin

Les données générales sur l'ensemble du territoire du SAGE masquent des variabilités importantes entre les sous-bassins. Une fiche descriptive par sous-bassin a été réalisée et peut être consultée en Annexe 6. Elle rassemble :

- Les données des RGA de 1970, 1978, 1988 et 2000 sur les superficies irriguées
- Les données de la PAC sur les superficies irriguées de 1995 à 2004 (maïs, orge et protéagineux)
- Les données de l'Agence de l'Eau depuis 1996 sur l'évolution des prélèvements par usage : agricole, industriel, AEP.
- Les données de l'Agence de l'Eau sur les ressources en eau utilisées par l'agriculture : nappe libre, nappe superficielle, cours d'eau, retenues…
- Le nombre de points de prélèvement
- Un tableau de synthèse indiquant certaines valeurs repère permettant de comparer les sous-bassins entre eux

2.2.3.2 Synthèse comparative des tendances sur les sous-bassins

La comparaison entre les sous-bassins laisse apparaître 2 tendances identiques sur tous les secteurs :

- La très forte croissance des surfaces irriguées depuis la fin des années 70
- La stabilisation de ces surfaces depuis ces dix dernières années

Cependant, ce sont bien les différences qui dominent entre sous-bassins. On retiendra en particulier que :

- La part des prélèvements agricoles en étiage est comprise entre 80 et 100% sur tous les sous-bassins, sauf deux : l'Yèvre à l'aval de Bourges et le bassin amont de l'Auron et de l'Airain pour lesquels ce pourcentage est inférieur à 40%

- La part annuelle des prélèvements industriels et domestiques reste limitée (cas du bassin de l'Yèvre à Savigny ou du Colin Ouatier Langis) ou inexistante, sauf sur trois bassins : le bassin du Moulon présente de forts prélèvements industriels et les bassins de l'Yèvre à l'aval de Bourges et de l'Auron amont ont des prélèvements pour l'AEP très largement dominants.

- Le sous-bassins de l'Airain a connu une hausse de 10% de ses surfaces irriguées en maïs sur la période 1996-2003. Cependant, les surfaces en maïs du sous-bassin du Colin-Ouatier-Langis sont stables (+2%) et l'ensemble des autres bassins montre une baisse importante (-10% pour la Rampenne, -13% pour l'Yèvre à Savigny, -21% pour l'Auron à l'Ormediot), voire très importante (-73% sur le Moulon)

- La ressource en eau utilisée par l'agriculture de façon dominante est la nappe libre à plus de 80% sur les bassins de l'Yèvre en amont de Bourges et de l'Auron. Les retenues collinaires sont par contre majoritaires sur les bassins du Moulon (60%), de l'Yèvre à l'aval de Bourges (70%) et de l'Auron amont (60%). Elles sont par ailleurs relativement développées sur le bassin de la Rampenne (35%)

- Les plus grosses pressions de prélèvements agricoles se trouvent sur les bassins de la Rampenne et surtout du Colin-Ouatier-Langis (en particulier de l'Ouatier). A l'inverse, les pressions sont faibles voire très faibles pour les bassins de l'Yèvre à l'aval de Bourges et de l'Auron amont. Ces pressions sont exprimées en m^3 par hectare total (surface des communes de la zone) dans le graphique le tableau ci-dessous.

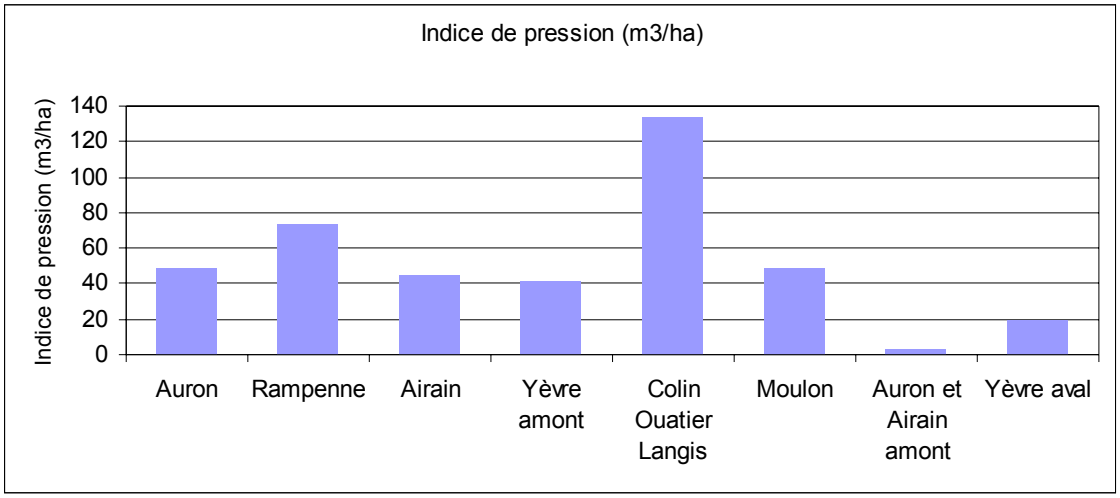


Figure 11 : indice de pression de prélèvement agricole par sous-bassin

Indice de pression des prélèvements agricoles : volume prélevé par rapport à la surface totale du sous-bassin	
Sous-bassin	Indice de pression agricole (m3/ha)
Bassin de l'Auron entre l'Ormediot et Dun sur Auron	49
Bassin de la Rampenne	74
Bassin de l'Airain entre Savigny et Lugny	45
Bassin de l'Yèvre en amont de Savigny, hors Airain	41
Bassin du Colin Ouatier Langis (y compris l'Yèvre entre Savigny et Bourges)	134
Bassin du Moulon	49
Bassin de l'Auron "à l'amont du Pondy"	3
Bassin de l'Yèvre à l'aval du Moulon et de l'Auron à l'aval de l'Ormediot, hors Rampenne	20

Tableau 4 : indice de pression de prélèvement agricole par sous-bassin

2.2.4 L'incidence du Canal de Berry sur les volumes prélevés

2.2.4.1 Historique du Canal de Berry

L'Auron prend sa source à la lisière de la forêt de Tronçais dans l'Allier et s'écoule vers Bourges où il conflue avec l'Yèvre. Il est longé sur tout son parcours d'environ 90 km par le Canal de Berry. Celui-ci a été construit entre 1808 et 1848 pour la navigation, mais déclassé définitivement en 1955. Le Canal de Berry utilise une partie des ressources en eau du bassin de l'Auron (et du bassin de la Marmande, de l'Aubois et de l'Arcueil) pour son alimentation à l'amont de Bourges, et du bassin de l'Yèvre à l'aval de Bourges. On trouvera un schéma du canal et de son alimentation en Annexe 7.

Le Canal comprend trois branches qui se rejoignent au lieu-dit de Fontblisse sur la commune de Bannegon :

- la « branche sud » de Montluçon à Fontblisse, qui descend la vallée du Cher de Montluçon à Saint-Amand-Montrond puis descend celle de la Marmande vers Fontblisse ;
- la « branche ouest » ou « deuxième branche » qui suit l'Auron jusqu'à Bourges, puis l'Yèvre, puis le Cher, pour se jeter dans le Cher canalisé à Noyers dans le Loir-et-Cher ;
- la « branche est » de Marseilles-les-Aubigny dans le Cher à Fontblisse.

Les différents tronçons du Canal ont été cédés aux communes suite à son déclassement, puis parfois revendus à des privés. Plusieurs syndicats intercommunaux[6] ont été formés pour l'entretien du canal et parfois la réhabilitation des ouvrages.

[6] Sur le territoire du SAGE, les syndicats concernés sont le SMERCAB (Syndicat Mixte d'Etudes, de travaux et de Coordination pour l'aménagement et la Rénovation du Canal de Berry), le SIAH (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique du Bassin de l'Auron), le Syndicat Intercommunal d'Etudes et de Travaux du Canal de Berry de Bourges à Vierzon, et enfin la commune d'Annoix, indépendante.

2.2.4.2 Alimentation en eau à l'amont de Bourges

Le Canal à l'amont de Bourges était à l'origine alimenté de la façon suivante :

- par l'Auron dans le bief de partage supérieur via une rigole de dérivation en rive droite de l'Etang de Goule, rejoignant le Canal au niveau de l'écluse de Liénesse (commune de Neuilly-en-Dun) ;
- par les interconnexions avec l'Auron à Dun et Saint-Just;
- par l'interception de la plupart des affluents en rive gauche de l'Auron ;
- par création de deux réservoirs d'un volume total de 3,7 Mm^3 environ, à savoir l'Etang de Goule sur l'Auron, et l'Etang du Pirot sur la Marmande ;
- par création d'un réservoir latéral au Pondy ;
- par création d'une usine élévatoire prélevant dans l'Allier au niveau de Mornay.

L'alimentation par les étangs de Goule et du Pirot a été abandonnée pour réserver à ces étangs un usage exclusivement d'agrément. Actuellement l'alimentation du Canal de Fontblisse à Bourges (branche ouest) se limite [7] :

- au trop-plein du bief de Fontblisse, lui-même alimenté par la rigole du Clou (Auron) et la rigole des Lombards (Marmande) ;
- à l'interception d'un certain nombre d'affluents en rive gauche de l'Auron (en période de hautes eaux), dont les débits sont ensuite en partie restitués ;
- à la dérivation de l'Auron au barrage de la station d'épuration de Dun ;
- à la dérivation de l'Auron par le barrage de Chevigny ;
- à l'interception des sources du Colombier.

La « branche est » quant à elle est alimentée par une prise d'eau sur l'Arcueil à Sancoins et sur l'Aubois à la Guerche-sur-l'Aubois.

Enfin, la « branche sud » est alimentée par une première prise d'eau par la rigole des Lombards sur la rivière la Marmande à Ainay-le-Château, et une seconde prise d'eau sur la Marmande à Saint-Amand Montrond.

[7] D'après CACG, 1996

Suite au déclassement du canal, à l'abandon et au manque d'entretien de certains tronçons, le canal n'est plus en eau sur tout son linéaire. Actuellement, seuls restent en eau le bief de partage, la section Fontblisse-écluse de Ripière (avec une interruption à la traversée de Dun) et les biefs compris entre l'écluse de Chevigny à Saint-Just et l'écluse de l'Etourneau à Bourges.

2.2.4.3 Incidence sur le débit de l'Auron

Les seules informations disponibles sur les débits d'alimentation du Canal de Berry proviennent de la campagne de mesures de l'été 1995 réalisée par la CACG (les 27 et 28 juillet alors que l'Auron est à sec en plusieurs endroits et en particulier à Saint Just, et les 4 et 6 septembre). Les résultats de cette campagne sont présentés en Annexe 7.

Selon ces données, l'ensemble formé par l'Auron et la nappe des calcaires de l'Oxfordien supérieur fournit 350 l/s au Canal, dont 250 l/s pris directement sur l'Auron et 100 l/s provenant des sources du Colombier. Le Canal retourne une quantité d'eau non mesurée à l'Auron, probablement égale au moins à 100 l/s. Pendant cette période, le débit mesuré dans l'Auron à l'Ormediot était de 360 l/s. On constate par ailleurs pour cette période des pertes de l'Auron vers la nappe de 170l/s environ entre Villaine et Feularde et un apport de 200 l/s environ entre Saint-Just et l'Ormediot.

Le système d'alimentation du Canal de Berry est donc lourd de conséquences sur l'Auron en période d'étiage. On note en outre que la gestion des dérivations de l'Auron vers le Canal n'est pas coordonnée. Enfin, le Canal serait sujet à des fuites importantes liées à la nature du terrain sur lequel il s'écoule.

Afin de réduire l'impact des dérivations du Canal, il pourrait être intéressant :

- Dans un premier temps de mieux maîtriser les débits dérivés afin de les asservir aux débits de l'Auron. Cela pourrait être réalisé à travers un diagnostic des ouvrages de dérivation et des moyens de régulation existants.
- Dans un second temps, d'envisager une ou plusieurs ressources de substitution pour l'alimentation, au moins partielle, du Canal. Un récapitulatif des solutions déjà proposées lors d'études antérieures est proposé en annexe.

En particulier, sur la base de ces solutions déjà étudiées, l'Annexe 7 aborde l'impact et la faisabilité d'une solution de réalimentation du Canal à partir d'une prise d'eau sur l'Allier à Mornay.

2.3 Conclusion sur la partie 2

Les prélèvements moyens sur le territoire du SAGE entre 1998 et 2003 sont de 28,1 Mm^3. Le maximum a été atteint en 1998 avec 33 millions de m^3. La part des prélèvements agricoles sur cette même période est de 15 millions de m^3 en moyenne. Leur variabilité explique quasiment à elle seule la variabilité des prélèvements totaux. **Concentrés sur la période d'étiage, ils représentent alors entre 60% et 70%.**

Les surfaces irriguées ont connu une **croissance forte** sur le territoire du SAGE **depuis la fin des années 70** en passant de 3500 ha en 1978 à 11 500 ha en 2000. Cette croissance est surtout marquée dans les années 80. Depuis le milieu des années 90, les cultures irriguées se sont **stabilisées**

Les plus grosses **pressions de prélèvements** agricoles se trouvent sur les bassins de la Rampenne et surtout du Colin-Ouatier-Langis (et en particulier de l'Ouatier).

A l'inverse, les pressions sont faibles voire très faibles pour les bassins de l'Yèvre à l'aval de Bourges et de l'Auron amont (et de l'Airain amont). Par ailleurs, les prélèvements pour l'AEP y sont dominants et la majorité des prélèvements agricoles s'y font en retenue. Sur le bassin du Moulon également les prélèvements sont réalisés en majorité en retenues. La culture du maïs y est en très forte régression et les vergers sont largement dominants. L'ensemble de ces bassins est situé en dehors du système hydrogéologique de l'Oxfordien supérieur. On n'y connaît pas d'étiages sévères récurrents.

D'un point de vue opérationnel, si l'on se réfère aux propos du préambule du rapport sur la mise en place d'une gestion volumétrique et les principes de limitation des volumes autorisés, cela signifie que l'on peut distinguer deux groupes de sous-bassins :

- **Groupe 1** : sur les sous-bassins sur lesquels la pression actuelle est forte, la gestion volumétrique consistera en un « partage » d'une ressource limitée
- **Groupe 2** : sur les autres sous-bassins, sur lesquels la pression de prélèvement actuelle reste suffisamment faible pour que le « partage » d'une ressource limitée n'ait pas encore de sens, il s'agira simplement d'attribuer un volume limité par exploitation agricole

Groupe	Type de gestion volumétrique	Sous-bassins concernés
Groupe 1	Partage d'un volume global limité entre les exploitations.	■ L'Auron entre Bourges et Dun-sur-Auron (lieu-dit le Chant), la Rampenne et l'Airain (à l'aval de Lugny) ■ L'Yèvre à l'amont de Bourges
Groupe 2	Attribution d'un volume limité par exploitation.	■ Le reste du bassin versant du SAGE Yèvre-Auron.

Tableau 5 : distinction de 2 groupes de sous-bassins versant en fonction du type de gestion volumétrique à mettre en place.

3 Une ressource fragile, rendant délicats les prélèvements agricoles

3.1 L'influence des pompages sur les rivières

3.1.1 Alimentation induite des pompages par la rivière

L'étude de la CACG a analysé en 1996 les données d'essai de pompage disponibles sur 8 forages dans la vallée de l'Auron et de la Rampenne. Ces pompages sont situés à une distance moyenne de 160 mètres de la rivière (le plus proche est à 10 m, le plus lointain à 575 m). Leur profondeur est de 23 m en moyenne (le plus profond à 35 m, le moins profond à 12 m). Les débits de ces ouvrages sont en général supérieurs à 150 m^3/h et sont donc assez élevés.

Les conclusions de ces essais sont les suivantes :

- Malgré des débits élevés, les rabattements enregistrés dans la nappe restent faibles (< à 1 m)
- Ce phénomène, bien connu en hydrogéologie, porte le nom de « pseudo-stabilisation » : dès que le niveau rabattu dans le terrain à proximité immédiate du forage passe sous le niveau de la rivière, il se produit une alimentation induite, c'est à dire que l'essentiel de l'eau extraite du forage provient de la rivière. Le niveau de la nappe ne baisse alors pratiquement plus[8]. Ce phénomène est présenté plus en détail dans l'encadré pages suivantes.

Sur deux de ces forages, des profils de débitmétrie ont été réalisés lors de leurs essais. La Figure 12 montre alors comment l'essentiel du débit de ces forages provient de fissures ponctuelles, moins profondes que ne laisserait supposer la profondeur finale des ouvrages et manifestement en relation avec la rivière.

[8] C'est ce même phénomène qui permet d'extraire des débits importants d'une rivière tout en profitant de l'effet de filtre réalisé par la berge et par la nappe, qui est fréquemment recherché pour la production d'eau potable.

Des abaques[9] permettent de déterminer en fonction de la distance pompage/rivière, de la durée de pompage et de caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère :

- d'une part le volume d'eau prélevé à la rivière, en pourcentage du volume pompé
- d'autre part le volume d'eau soustrait à la rivière après l'arrêt du pompage. Ce deuxième terme, qui peut être notable, a été négligé par la CACG.

Les caractéristiques de l'aquifère sont déterminées à partir des résultats d'essais de pompages disponibles pour les 8 pompages cités ci-dessus.

Les calculs réalisés ainsi n'ont bien entendu qu'une valeur théorique. Ils reposent sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices qui ne sont pas toujours respectées (nappe homogène et isotrope, rivière parfaite, etc.). La principale simplification vient probablement de la non prise en compte du colmatage du lit : les éléments pour le faire ne sont pas disponibles.

L'influence globale des pompages a été évaluée par cette méthode à 80% : il s'agit du rapport des volumes prélevés sur la rivière sur les volumes totaux exploités. En moyenne, les forages sur lesquels a été réalisée cette estimation sont à 280 m de la rivière.

L'application directe de cette démarche aux forages cas par cas conduirait à une grande imprécision des résultats ne pouvant être levée que par des essais longs et compliqués. Par contre, ses résultats peuvent être considérés comme tout à fait valables dès lors que l'on cherche à quantifier l'influence globale des pompages.

Dans les conditions de cette approximation, l'influence d'un forage proche (<500m) peut se faire ressentir sur la rivière au bout de quelques heures. L'influence d'un forage plus lointain prendra quelques jours pour parvenir à la rivière.

Plus un forage est loin de la rivière, plus son influence est difficile à approcher. En contribuant à la vidange du réservoir de la nappe, il influera tôt ou tard sur le volume d'eau écoulé de la nappe vers la rivière et donc sur le débit de celle-ci. Cependant, il est difficile de quantifier à quel moment et dans quelles proportions ce « manque à gagner » dans le réservoir va influer sur le débit de la rivière.

[9] Les calculs d'influence de pompages sur le débit des rivières font appel au modèle de Collins,

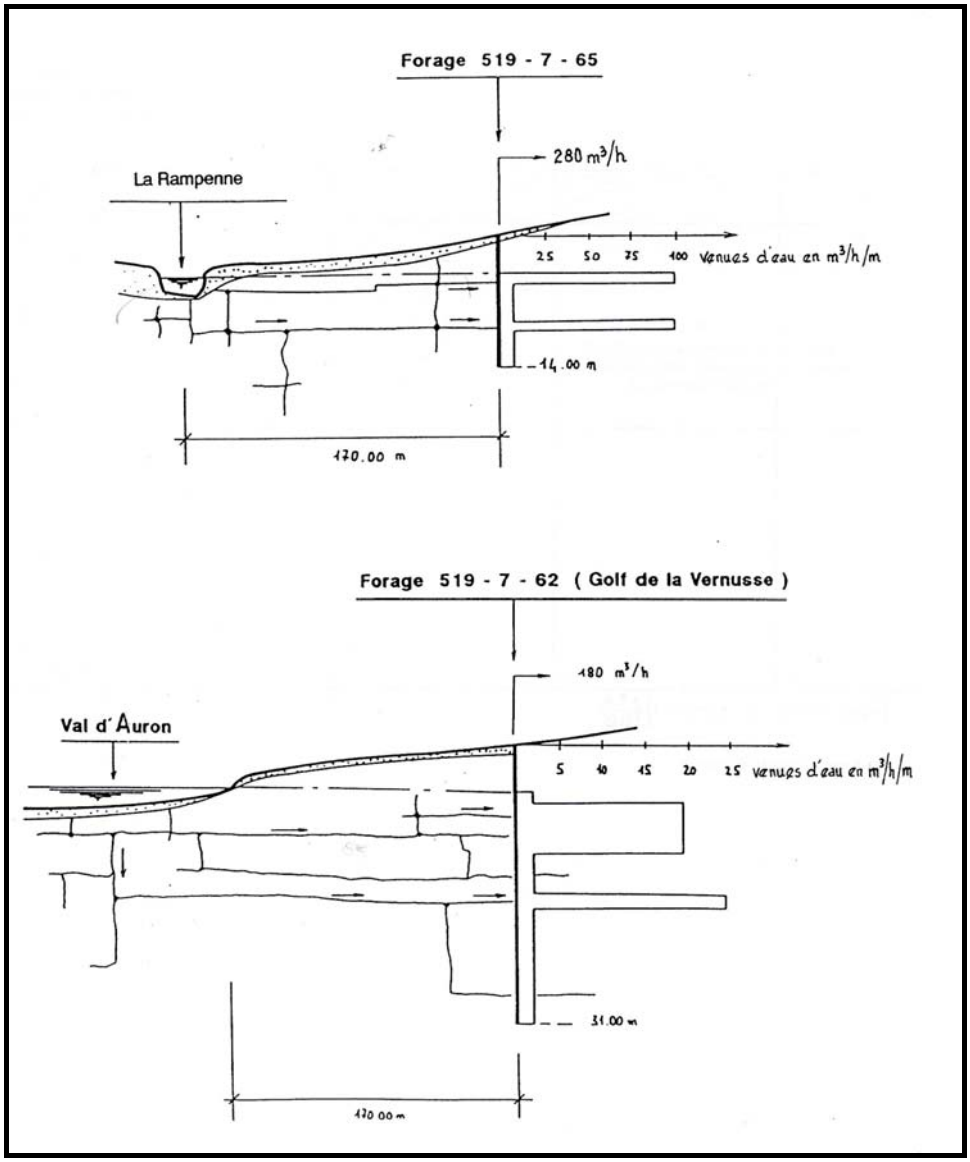
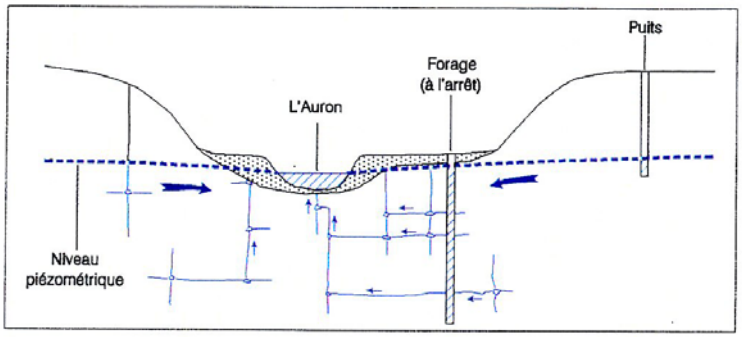


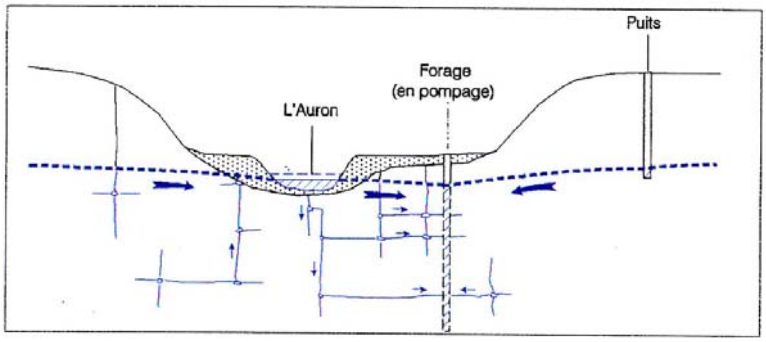
Figure 12 : alimentation de forages par des fissures

qui a donné lieu à l'établissement d'abaques. Ces derniers sont utilisés notamment par de Marsily et Houdaille (l'Eau, janvier 1969)

Influence théorique d'un pompage sur un cours d'eau



Un forage capte un réseau de fissures, certaines grosses (schématisées ici), d'autres minuscules, qui sont en communication avec la rivière, parfois directement, parfois au travers d'une couche d'alluvions pelliculaire. En l'absence de pompage, l'eau s'écoule (très lentement) par ce réseau de fissures, du coteau vers la rivière. Les niveaux d'eau dans la nappe sont toujours supérieurs à ceux de la rivière, de quelques centimètres (puits ou forages proches) à quelques mètres (forages plus éloignés).



En pompage, le forage draine le réseau de fissures, la zone drainée s'étendant d'autant plus loin que le terrain est fissuré et le temps de pompage long. Après quelques heures (forages proches < 500m) à quelques jours (forages lointains), la zone drainée atteint la rivière. Dès que le niveau dans le terrain à proximité immédiate du forage s'abaisse, sous l'effet du pompage, sous le niveau de la rivière, l'écoulement se renverse et s'effectue depuis celle-ci vers le forage : la rivière alimente alors la nappe par induction. Pour les forages proches, il s'établit un régime semi-permanent, attesté par le fait que le niveau dans le forage ne baisse presque plus (« pseudo-stabilisation »). L'essentiel de l'eau extraite provient alors en fait de la rivière, avec des vitesses d'écoulement dans la nappe beaucoup plus rapides qu'en l'état initial.

3.1.2 Réalisation d'un modèle simplifié de l'aquifère sous Flowpath

Une modélisation simplifiée en régime permanent de l'aquifère a été réalisée dans le cadre de l'étude afin d'obtenir un bilan spatialisé des écoulements d'eau sur le bassin à une période donnée.

Le modèle réalisé est hélas mal utilisable pour estimer l'impact des prélèvements. En effet :

- l'utilisation d'un modèle hydrogéologique s'avère mal adaptée à la simulation des objectifs de débit en rivière sur le système Yèvre-Auron ;
- en outre le régime permanent en étiage doit être simulé à l'aide d'un terme de déstockage de nappe dont on ne connaît pas la répartition géographique.

On en trouvera les explications en Annexe 8.

On a toutefois calculé les débits qui résulteraient de l'annulation de tous les prélèvements, toutes les autres variables du modèle restant égales. Les prélèvements représentent environ 1/3 du déstockage de la nappe sur les 10 jours d'étiage modélisés. Les débits ci-après ne représentent pas plus qu'un ordre de grandeur.

	Débit (l/s) observé avec prélèvements	Débit calculé en l/s avec prélèvements	Débit calculé en l/s sans prélèvements
Débit à St Just – l'Ormediot	588	425	491
Débit de l'Yèvre à Savigny-en-Septaine	372	947	1077
Débit du Moulon à Bourges	87	132	189

Tableau 6 : débits des cours d'eau modélisés avec et sans prélèvements

Le débit différentiel de l'Auron à l'Ormediot (66 l/s) représente 60% des prélèvements modélisés pour la période sur le bassin versant.

3.2 L'influence du climat sur les étiages de 1970 à 2003

Sur la station de l'Auron à l'Ormediot, seule station hydrométrique pour laquelle nous disposons de données anciennes, il est possible de comparer les conditions pluviométriques et climatiques de l'année (voir tableau du paragraphe 1.1) à la sévérité des étiages dans la rivière. Les conclusions de cette analyse sont les suivantes (voir aussi Tableau 7) :

- Pour les années aux étiages marqués ou sévères, les étiages observés s'expliquent soit par des hivers secs, soit par des étés secs, soit par une combinaison d'hiver et d'été sec. Ces années correspondent aux années où le débit de crise actuel de 210 l/s est franchi.

- Les années aux étiages normaux ou faibles correspondent à des années qui ne sont pas particulièrement sèches, voire humides.

- Le fait qu'un hiver sec puisse suffire à expliquer l'occurrence d'un étiage (1992, 1997, 2002) montre que la recharge hivernale de la nappe joue un rôle sur la ressource disponible pour le milieu naturel et les prélèvements en été ; ce rôle n'est cependant pas prédominant, car un hiver sec peut être « rattrapé » par un été humide (1987, 2000) ; un été sec (1974, 1996) peut également causer un étiage relativement sévère même après un hiver normal (1996 est également un printemps très sec avec irrigation).

- De façon plus générale, les analyses réalisées montrent que les pluies de printemps et d'été ont un rôle important dans la détermination de la situation des cours d'eau en étiage, de part : 1/la recharge printanière et même estivale de nappe ; 2/ l'importance de la pluviométrie estivale et du ruissellement pour la genèse des débits d'été des cours d'eau.

- En conclusion, c'est la combinaison de la recharge hivernale et printanière de la nappe avec les pluies d'été qui explique l'étiage du cours d'eau. Cet étiage est aggravé par l'intensité des prélèvements

- Il est délicat de quantifier l'influence des prélèvements – qui ont beaucoup augmenté depuis les années 70 – par rapport à celle de la pluie par ce type d'analyse. En effet, il existe une corrélation forte entre l'intensité des prélèvements agricoles annuels et l'intensité des pluies du 1er juin au 30 août (voir

paragraphe 2.2.2.2), ce qui rend impossible, par le seul traitement statistique, la distinction de ces deux influences sur les étiages.

Ainsi, on remarquera que la différence entre le QMNA5 des années 1960 à 1975 (360 l/s) et celui des années 1990-2005 (160 l/s)[10] peut être imputée non seulement à l'augmentation des prélèvements, mais aussi aux variations de la pluviométrie.

Caractérisation de l'étiage de l'Auron	Années concernées sur la période 1970-2003[11]	Explications climatiques
Etiage sévère	1989, 1990, 1991, 1992, 1996, 2003	Etiages observés lors d'années hydrologiques sèches à très sèches, avec des hivers secs à très secs suivis d'étés normaux ou très secs. L'année 1992 est une année normale sur le total annuel mais présente un hiver très sec. L'année 2003 est plutôt humide mais les températures d'été ont été élevées.
Etiage marqué	1973, 1974, 1993, 1998, 2002	Les étés des années 1993 et 1998 ont été très secs. Les années 1973 et 1974 sont globalement sèches. L'année 2002 a connu un hiver sec à très sec.
Etiage normal	1971, 1972, 1975, 1978, 1980, 1984, 1985, 1986, 1995, 1997, 1999	Années normales ou humides, sauf 1971 qui est sèche.
Etiage faible	1970, 1979, 1981, 1982, 2000, 2001	Tous les étés et les hivers sont normaux à très humides, sauf pour l'année 2000 pour laquelle l'hiver sec a été compensé par un été humide.

Tableau 7 : explication des étiages sur l'Auron en fonction de la pluviométrie de l'année

[10] Ce calcul a été effectué par la DDAF dans le cadre d'une étude pour la détermination des débits seuils sur l'Auron à l'Ormediot.
[11] Les années non représentées présentent des séries de données incomplètes ou manquantes

3.3 Une ressource naturellement fragile

Un outil d'aide à la décision permettant de déterminer des objectifs de gestion (débits objectifs pour les cours d'eau et volumes exploitables pour les usages) a été construit dans le cadre de cette étude. Il s'applique aux cas de l'Auron à l'Ormediot et de l'Yèvre à Savigny. Son principe et ses applications sont présentés un peu plus loin dans ce rapport. On peut cependant en présenter à ce niveau une première application intéressante.

Le graphique ci-dessous montre la fréquence d'atteinte de deux niveaux d'objectifs sur l'Auron, au mois d'août, en fonction du volume prélevé par l'agriculture :

- Objectif 1 : assurer au mois d'août moins de 5 jours en dessous d'un débit de 210 l/s (QMNA5, débits de crise actuel)
- Objectif 2 : assurer au mois d'août moins de 5 jours en dessous d'un débit de 500 l/s (débit minimum biologique)

On y lit qu'en l'absence de prélèvements agricoles au mois d'août, l'objectif 1 ne pourrait être atteint en moyenne que 8 années sur 10. L'objectif 2 quant à lui ne serait atteint que 4 années sur 10.

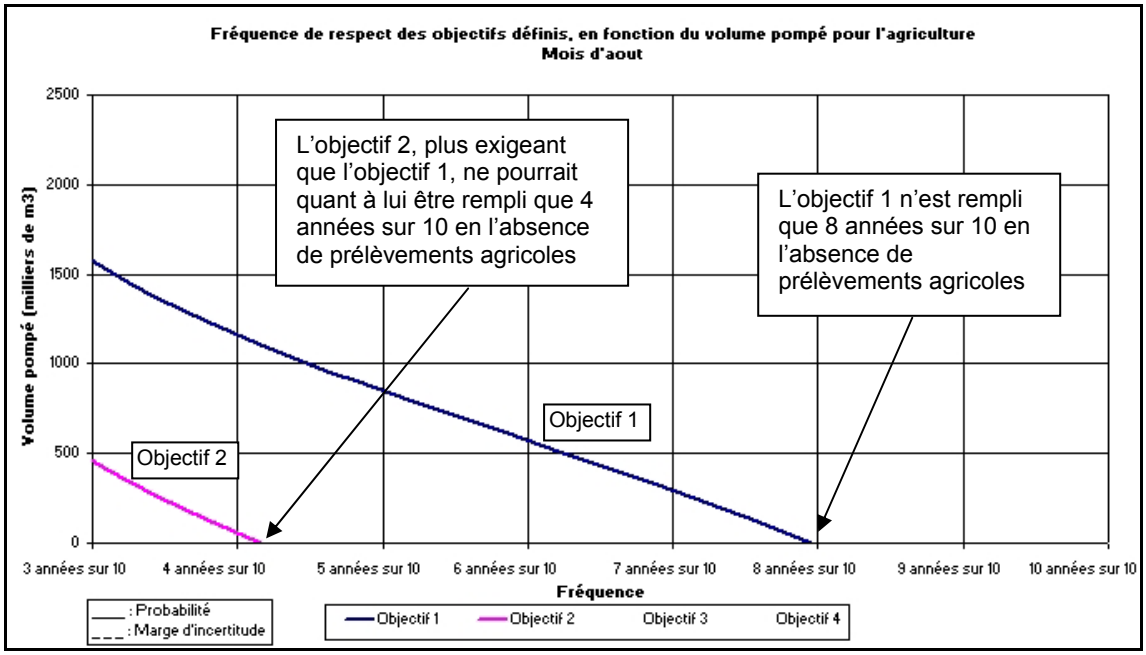


Figure 13 : fréquence de respect de deux objectifs sur l'Auron à l'Ormediot au mois d'août en cas de prélèvements agricoles nuls

De même sur l'Yèvre au mois d'août, on peut tester deux objectifs similaires (Figure 14) :

- Objectif 1 : assurer moins de 5 jours en dessous de 39 l/s (QMNA5, débit de crise actuel)
- Objectif 2 : assurer moins de 5 jours en dessous de 80 l/s (débit minimum biologique)

On constate que le second objectif ne serait rempli que 8 années sur 10 et le second qu'entre 8 et 9 années sur 10 (toujours en l'absence de prélèvements agricoles).

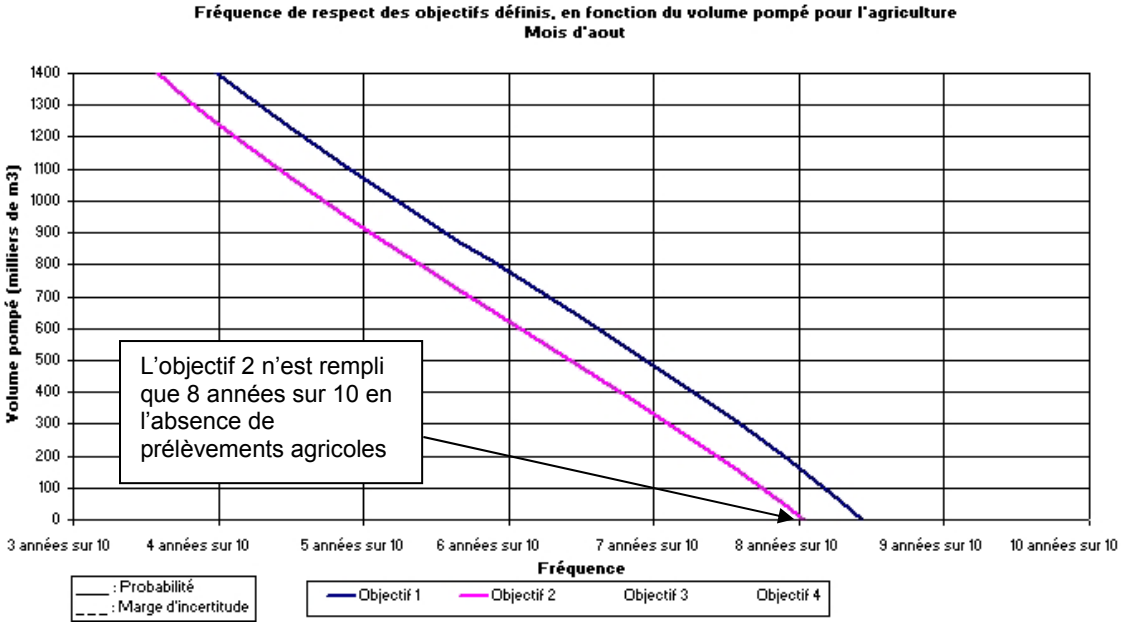


Figure 14 : fréquence de respect de deux objectifs sur l'Yèvre à Savigny au mois d'août en cas de prélèvements agricoles nuls

On met ainsi en évidence une ressource fragile qui, même en l'absence de prélèvements agricoles, peut connaître des étiages naturels sévères.

On voit aussi sur ces deux graphiques qu'en augmentant le volume des prélèvements (on remonte alors le long d'une courbe), on dégrade la fréquence à laquelle l'objectif fixé pour la rivière peut être atteint (on ne discute pas ici de la pertinence des objectifs que l'on a pris pour exemple). Ainsi pour l'Yèvre à Savigny, un niveau de prélèvement de 300 000 m^3 dégrade la fréquence à laquelle on atteint l'objectif 2 de 8 années sur 10 à 7 années sur 10.

3.4 Les données manquantes

A ce stade on peut d'ores et déjà identifier certaines actions qu'il serait intéressant de mettre en place, en terme d'acquisition de données :

- Un suivi plus systématique et précis des débits dérivés par le Canal de Berry aux différents points
- Des mesures de débits dans les rivières suivantes : Rampenne, Colin, Langis. Une mesure plus précise du débit de l'Yèvre au niveau de Bourges serait également nécessaire.
- Obtenir des références plus nombreuses et plus approfondies sur les débits biologiques des cours d'eau et, de façon plus générale, sur les débits nécessaires à leur bon état écologique.
- Si l'on souhaite expliquer le fonctionnement de l'Auron, des mesures de débits (ou jaugeages différentiels) tout au long du cours d'eau ;
- Enfin, il serait intéressant de disposer d'une base de données commune entre les points de prélèvement recensés par la Police de l'Eau et les données de consommation de l'Agence de l'Eau et ce afin de disposer d'un moyen de suivi plus facile et plus précis de l'évolution des prélèvements par sous-bassin.

3.5 Conclusion sur la partie 3

L'étiage des cours d'eau s'explique par la **combinaison de la recharge hivernale et printanière de la nappe avec les pluies d'été**. Cet étiage est facilement **aggravé par l'intensité des prélèvements,** ce qui rend ces derniers délicats. Cependant, en l'absence d'une approche par modélisation, il reste difficile de distinguer par le seul traitement statistique des données, l'influence des prélèvements de celle des pluies. La corrélation entre les deux est en effet très forte.

La majorité des prélèvements est située à proximité des cours d'eau. Ces prélèvements, même pour les plus profonds, influent sur les écoulements entre la nappe et la rivière. Le phénomène **« d'alimentation induite »** permet d'estimer que globalement, à l'échelle du bassin, **une proportion importante du volume prélevé par ces pompages proches provient en fait directement de la rivière. Cette proportion peut être évaluée entre 60% et 80%.**

Pour les pompages plus éloignés, il reste difficile, en l'absence de modèle plus précis, de quantifier l'influence dans le temps des pompages sur les cours d'eau, bien que cette influence existe de façon certaine.

4 Détermination d'un volume exploitable par l'irrigation

4.1 Préambule : les limites de l'application d'une gestion volumétrique sur le bassin Yèvre Auron

L'application du principe de gestion volumétrique sur le bassin Yèvre Auron présente une limite majeure : le réservoir d'eau à gérer ici, à savoir l'aquifère des calcaires, montre des recharges et des vidanges si rapides que la gestion de la ressource consiste finalement plus en la gestion d'un débit qu'en la gestion d'un stock et d'un volume.

Ceci pose un problème dès lors qu'il s'agit de définir un volume exploitable sur le bassin, et ce en l'absence d'une modélisation plus poussée des phénomènes prenant notamment en compte l'influence dans le temps des prélèvements.

La démarche exposée dans cette section vise à apporter une réponse à cette contradiction réelle entre la notion de **gestion d'un stock**, sous-jacente derrière la notion de gestion volumétrique, et la réalité du bassin Yèvre Auron à savoir la **gestion d'un débit**, formé par les pluies, dépendant du climat et soutenu par un réservoir souterrain à vidange rapide et à faible inertie.

4.2 Choix d'objectifs de débits en rivière

4.2.1 Qu'est-ce qu'un bon objectif pour la rivière ?

Il est important de rappeler ici que les références sur les débits permettant d'atteindre le bon état écologique des cours d'eau restent limitées sur le bassin Yèvre Auron (connaissance des débits minimum biologiques par exemple). Ainsi, l'approche adoptée ne peut être qu'une approche statistique, fondée sur les séries de données de débit existantes. Par définition, la limite de cette approche est de ne pas s'appuyer sur des références de débit objectives, liées par exemple à un objectif de bon état du cours d'eau.

Ainsi, le choix d'un objectif de gestion pour la rivière reste délicat dans un contexte où les données et les connaissances sur le fonctionnement des rivières étudiées sont en

partie limitées. Cependant, même fondé sur une approche statistique, il doit s'appuyer sur un certain nombre de critères pragmatiques, conduisant l'objectif à être à la fois :

- cohérent par rapport au fonctionnement naturel de la rivière
- atteignable à une fréquence raisonnable (exprimé par exemple sous la forme de « n années sur 10 »)
- défini sur la période où la ressource est la plus limitante par rapport aux usages (dans notre cas il s'agit en général du mois d'août)
- appuyé sur une valeur de débit qui soit suffisamment haute pour permettre une réaction rapide en cas de dégradation de la situation
- appuyé également sur un nombre de jours pour lesquels on accepte que le débit seuil soit franchi : cette contrainte est imposée par l'approche volumétrique. En effet, si l'on si recherche le volume exploitable à l'échelle d'un mois pour garantir que le débit journalier de la rivière ne passe jamais en dessous d'un seuil donné pendant ce mois, l'approche statistique risque fort de donner un volume très faible pour se prémunir contre les cas exceptionnels… Ce nombre de jours doit bien sûr être suffisamment bas (par exemple 5 jours dans le mois) pour éviter une crise permanente.
- enfin, l'objectif doit être négocié et accepté par l'ensemble des acteurs, principe qui sous-tend le processus du SAGE.

C'est la démarche que nous allons suivre dans ce chapitre. Pour cela, on s'est appuyé sur un outil d'aide à la décision simple, décrit ci-dessous.

4.2.2 Un outil statistique comme support de discussion

L'outil utilisé permet de tester, pour le mois de juillet ou le mois d'août, un ensemble d'objectifs comprenant chacun :

- Une valeur de débit seuil en rivière
- Un nombre de jours pour lesquels on accepte que le débit de la rivière passe en dessous de ce débit seuil

Le résultat, présenté sous forme de graphique, montre le volume qu'il serait possible de prélever pour l'agriculture en fonction de la fréquence à laquelle on souhaite atteindre l'objectif fixé (fréquence exprimée en nombre d'années sur 10)

Les principes de fonctionnement de cet outil et les hypothèses qu'il utilise sont présentés dans l'encadré des pages suivantes.

4.2.3 Estimation de l'erreur liée à l'approche

Les chiffres de volumes d'eau fournis par cette approche dans la suite du rapport reposent sur deux hypothèses (voir encadré) :

- Hypothèse 1 : on considère que le volume prélevé dans le mois par les captages proches de la rivière provient à 70% de la rivière.
- Hypothèse 2 : La part des prélèvements réalisée avant le mois de juin est de 30% (hypothèse présentée en paragraphe 2.2.2.2)

L'outil utilisé permet de faire varier ces hypothèses. Le tableau suivant permet d'évaluer sommairement l'impact de ces hypothèses sur le volume d'eau calculé.

		Hypothèse 1 : impact des prélèvements		
		60%	70%	80%
Hypothèse 2 : prélèvements avant juin	30%	de –5% à +5%	0	de –5% à +5%
	20%	de +5% à +15%	+ 10%	de +5% à +15%
	10%	de +15% à +25%	+ 20%	de +15% à +25%
	0%	de +25% à +35%	+ 30%	de +25% à +35%

Tableau 8 : estimation de l'erreur sur le calcul du volume liée aux hypothèses de départ

Ce tableau se lit par exemple de la façon suivante : « si l'hypothèse 1 reste à 70% mais que l'hypothèse 2 n'est plus que de 10%, le volume d'eau calculé sera majoré d'environ 20% »

Un outil d'aide à la décision pour la détermination d'objectifs de gestion

L'outil présenté et utilisé dans cette section a été conçu comme un outil d'aide à la décision. Il permet de faire ressortir les points importants de la discussion sur le choix d'objectifs de gestion pour l'Yèvre et pour l'Auron à savoir :

- La définition d'un objectif d'état de la rivière (= un débit seuil + un nombre de jours de dépassement toléré)
- Les conséquences du choix d'un tel objectif sur la définition de volumes exploitables

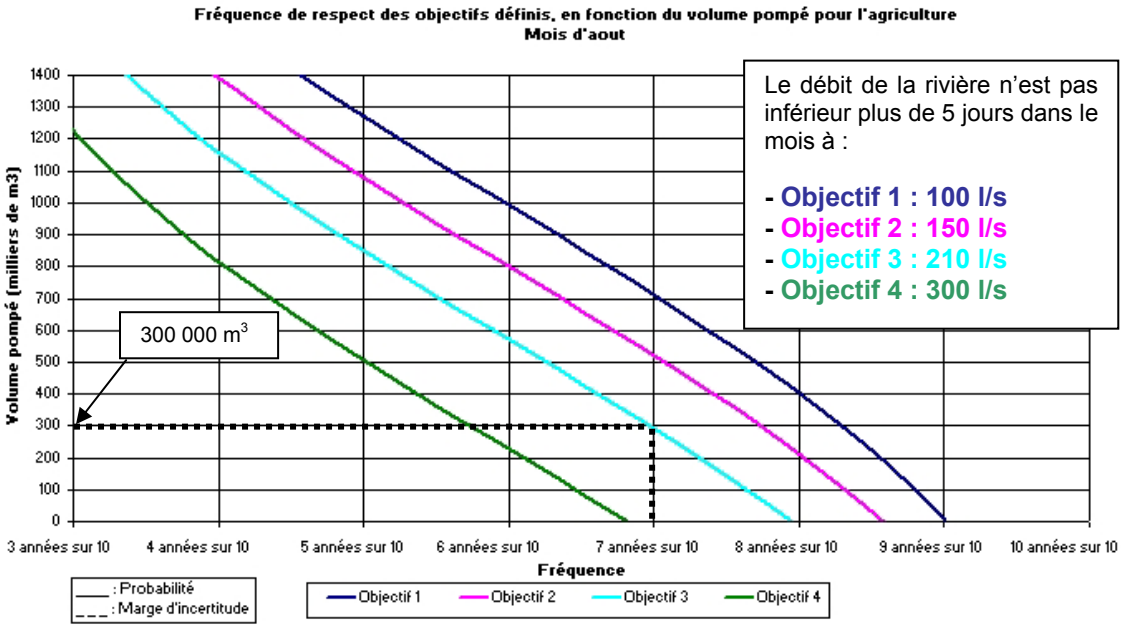
Dans un contexte où les données sur le fonctionnement du système restent limitées et où subsiste un certain nombre d'incertitudes, le choix final d'objectifs de gestion ne peut pas avoir de réponse tranchée. Il ressort cependant que la ressource concernée est fragile et que le niveau de prélèvements sur cette ressource doit être raisonné. Le choix d'objectifs de gestion sera donc le résultat d'une discussion entre acteurs et de compromis.

L'outil présenté peut être un support objectif à cette discussion en permettant de tester et de comparer facilement un ensemble d'objectifs. Son utilisation simple lui permet d'être facilement manipulé. Un mode d'emploi de cet outil est présenté en Annexe 10. On trouvera ci-dessous quelques précisions sur la démarche suivie sa réalisation. Pour plus de détails, on pourra se reporter en Annexe 9.

- A partir de l'observation des données réelles, on établit une relation qui donne, pour une valeur seuil de débit en rivière, le nombre de jours pour lesquels ce débit seuil sera franchi en fonction du débit moyen dans le mois. Cette relation reste empirique.
- Les débits « naturels » de la rivière sont reconstitués sur la période 1970-2003. Seuls les prélèvements se trouvant à moins d'un kilomètre de la rivière sont pris en compte. On considère alors que le volume prélevé par ces captages dans le mois provient à 70% de la rivière (hypothèse 1) (voir explication en paragraphe 3.1). Les prélèvements plus éloignés sont ignorés à ce niveau. Les prélèvements agricoles de l'année sont répartis comme indiqué en paragraphe 2.2.2.2 (hypothèse 2). Les prélèvements autres qu'agricoles sont considérés constants chaque mois. Pour reconstituer le débit mensuel naturel de la rivière, on rajoute donc 70% des prélèvements du mois, tous usages confondus.

- Le volume mensuel disponible pour les prélèvements est calculé pour chaque année de la période 1970-2003. Le calcul est réalisé en soustrayant au débit mensuel naturel, le débit mensuel objectif évalué ci-dessus. Les valeurs de volume disponibles ainsi calculées pour chaque année sont classées et ajustées sur une loi statistique (loi normale).

- Le graphique résultat permet de comparer plusieurs objectifs. On le lit de la façon suivante : au mois d'août, pour atteindre 7 années sur 10 un débit en rivière qui ne soit pas inférieur à 210 l/s pendant plus de 5 jours, le niveau de prélèvements possible est de 300 000 m^3.



- Evaluation de l'incertitude

L'incertitude liée aux hypothèses de départ du modèle (hypothèses 1 et 2) a été estimée par des tests de sensibilité à 15% pour des gammes de débit de 30 à 500 l/s et des fréquences de 7 à 9 années sur 10. Cette marge d'incertitude peut être affichée sur le graphique résultat. Le modèle a tendance à sous-estimer la ressource disponible pour les nombres de jours très faibles (0 ou 1). Un tableau d'estimation de l'erreur est proposé en paragraphe 4.2.3.

4.2.4 Application à la détermination d'objectifs d'état pour l'Yèvre et pour l'Auron

Pour déterminer un objectif de débit pour l'Auron à l'Ormediot et pour l'Yèvre à Savigny, on cherche à répondre à la question suivante : « si les prélèvements agricoles étaient nuls, quel est, au mois d'août (période où la ressource est la plus limitante), le débit le plus haut qu'il serait possible d'assurer tous les jours dans la rivière (sauf pendant 5 jours), et ce à une fréquence acceptable d'environ 8 années sur 10 ? »

Si l'on est capable de répondre à cette question, on a alors un objectif qui reste cohérent avec le fonctionnement « naturel » de la rivière[12].

4.2.4.1 Application pour l'Auron à l'Ormediot

Le graphique ci-dessous montre le test de 4 débits seuil. On s'intéresse aux points auxquels chacune des courbes coupe l'axe 0. Les seuils de 100 l/s et 150 l/s paraissent trop peu exigeants et marquent des années qui paraissent trop exceptionnelles (puisque survenant moins de 2 années sur 10 en situation « naturelle »).

A l'inverse, le seuil de 300 l/s marque des situations « naturelles » qui vont survenir entre 3 et 4 années sur 10. Si on le prend comme seuil, on sera donc trop exigeant par rapport à la situation naturelle de la rivière.

Le seuil de 210 l/s paraît quant à lui bien adapté : il marque des situations « naturelles » se produisant 2 années sur 10, donc suffisamment exceptionnelles, mais pas trop.

La réflexion menée dans le paragraphe 1.2.3 (les étiages de l'Auron) avait suggéré que ce seuil, correspondant par ailleurs au débit de crise actuel défini dans l'arrêté cadre sécheresse, permettait de bien distinguer les années à problème. On a ici une nouvelle confirmation de la pertinence de ce seuil.

Pour le mois de juillet, période où la ressource est en général moins limitante qu'en août, on gardera la même valeur de débit seuil (210 l/s) et l'on prendra comme référence une situation où « aucun »[13] jour n'est en dessous de 210 l/s.

[12] On met ici de côté la question des dérivations du Canal de Berry que l'on évoquera par la suite.

On travaillera donc dans la suite de l'étude sur un objectif de gestion de l'Auron à l'Ormediot formulé de la façon suivante :

- un débit seuil de 210 l/s
- 5 jours de dépassement par le bas de ce débit seuil acceptés au mois d'août
- « aucun » jour de dépassement par le bas de ce débit seuil en juillet

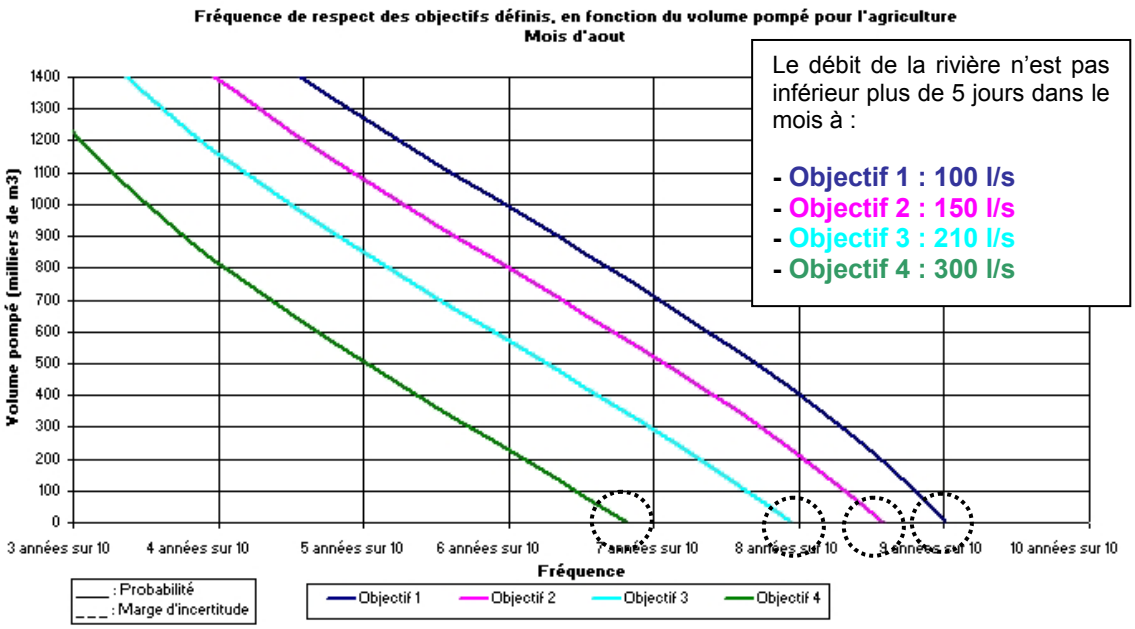


Figure 15 : fréquence de respect d'objectifs de gestion sur l'Auron, pour des prélèvements nuls

[13] Dans les limites de l'outil proposé, la formulation « aucun » recouvre une gamme de 1 à 2 jours, l'outil ayant tendance à sous-estimer la ressource disponible en dessous de 1 jour

4.2.4.2 Application pour l'Yèvre à Savigny

Le même raisonnement sur l'Yèvre conduit à des résultats moins tranchés. Le débit de 80 l/s semble être un objectif raisonnable. On a vu par ailleurs dans le paragraphe 1.2.3 (caractérisation des étiages) que le débit de 80 l/s jouait un rôle similaire à celui des 210 l/s sur l'Auron pour distinguer les années à problème. Ce débit est de plus à la fois le débit biologique calculé pour l'Yèvre et le QMNA5 estimé par la DIREN.

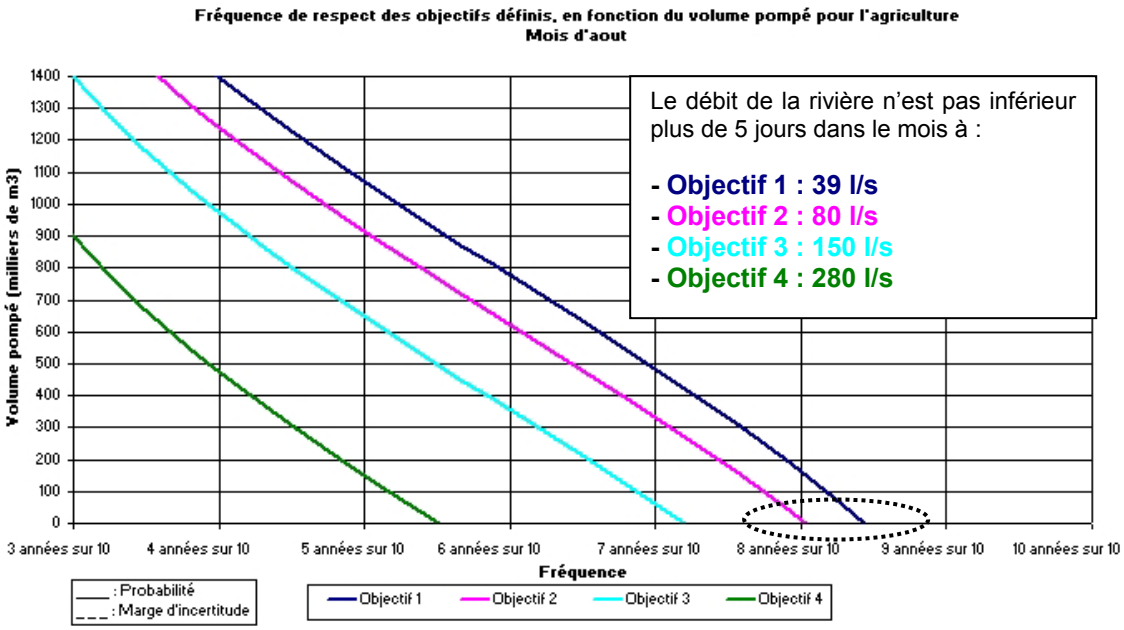


Figure 16 : fréquence de respect d'objectifs de gestion sur l'Yèvre, en fonction du niveau de prélèvements

Il s'agit donc d'un objectif réaliste par rapport à la situation naturelle de la rivière.

On travaillera donc dans la suite de l'étude sur un objectif de gestion de l'Yèvre à Savigny formulé de la façon suivante :

- un débit seuil de 80 l/s
- 5 jours de dépassement par le bas de ce débit seuil acceptés au mois d'août
- « aucun » jour de dépassement par le bas de ce débit seuil en juillet

4.3 Conséquences sur le volume théoriquement exploitable pour l'irrigation

4.3.1 Les réponses apportées pour les zones géographiques couvertes par l'outil

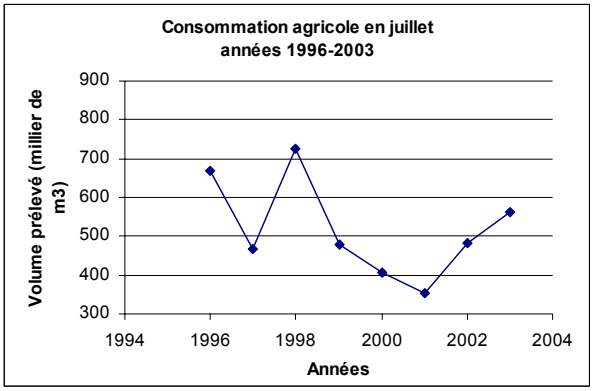
Il s'agit désormais de répondre à la question suivante : quel impact des prélèvements par rapport à une situation « naturelle » reste acceptable ?

Une autre façon de poser la question en s'appuyant sur les graphiques présentés ci-dessus est : quelle dégradation de la fréquence à laquelle on atteindra l'objectif reste acceptable ?

Il n'y a pas de réponse définitive à cette question. On propose ici de limiter cette dégradation à 1 année sur 10, ce qui est un impact sensible, d'autant que cette valeur reste une moyenne. Cela a de plus le mérite de fixer un point de repère.

Par lecture sur les graphiques, on obtient alors les volumes exploitables suivants :

- Pour l'Auron à l'Ormediot, entre 425 000 et 475 000 m^3 en juillet et entre 300 et 350 000 m^3 en août
- Pour l'Yèvre à Savigny, entre 400 000 et 450 000 m^3 en juillet et entre 275 000 et 325 000 m^3 en août



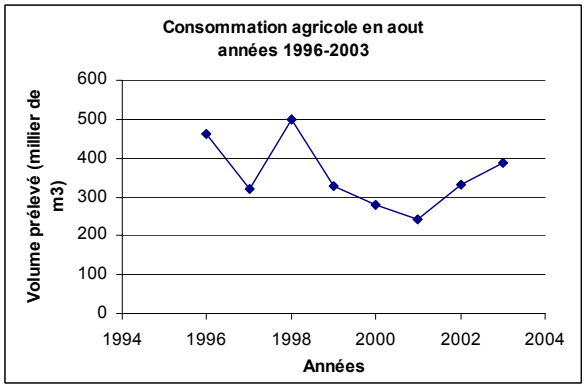
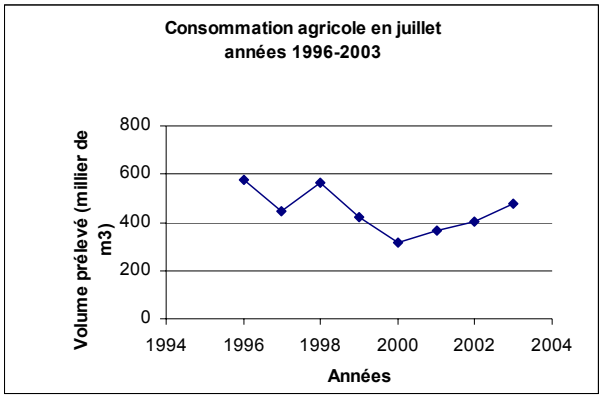


Figure 17 : évolution des prélèvements agricoles pour les points de prélèvements considérés dans l'approche de cette section (Auron entre l'Ormediot et Dun, hors points de prélèvement éloignés des cours d'eau)



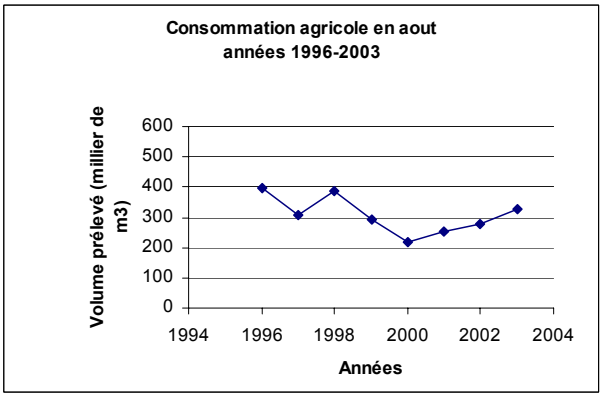


Figure 18 : évolution des prélèvements agricoles pour les points de prélèvements considérés dans l'approche de cette section (Yèvre à Savigny, hors Airain et hors points de prélèvement éloignés des cours d'eau)

4.3.2 Extrapolation à l'ensemble des sous-bassins du groupe 1.

On rappelle que la définition des 2 groupes de sous-bassins a été donnée en section 2.3.

L'outil utilisé dans les paragraphes précédents ne peut être réalisé que sur deux sous-bassins du groupe 1, l'Yèvre en amont de Savigny et l'Auron en amont de l'Ormediot, en raison de l'absence de données suffisantes sur les autres sous-bassins pour réaliser de tels traitements statistiques. Par ailleurs, les points de prélèvement éloignés ne sont pas pris en compte.

On constate que les volumes estimés au paragraphe précédent correspondent assez bien aux volumes moyens consommés pour l'année 1997 sur les points de prélèvement considérés[14].

Ces volumes sont :

- 446 000 m^3 en juillet et 307 000 m^3 en août pour l'Yèvre à Savigny
- 466 000 m^3 en juillet et 320 000 m^3 en août pour l'Auron à l'Ormediot

[14] Les volumes de l'année 1997 sont aussi les volumes moyens de la période 1996-2003

Sur cette base, deux solutions sont proposées pour déterminer des volumes de référence sur les autres sous-bassins.

4.3.2.1 Solution 1 : les efforts réalisés sur tous les sous-bassins sont équivalents

Afin que les efforts réalisés du point de vue des irriguants soient équivalents sur l'ensemble des sous-bassins, il peut être intéressant de prendre pour objectif les consommations d'une même année de référence. Comme nous l'avons vu ci-dessus, l'année 1997 pourrait jouer ce rôle.

Il s'agirait alors bien de prendre les consommations **dans leur ensemble et non individuellement**. Il est important de comprendre également ici que prendre l'année 1997 comme référence n'est qu'un moyen de fournir un volume de prélèvement de référence : cela ne porte aucune appréciation sur la situation réelle de l'étiage et sur le climat de l'année 1997.

On donne dans le Tableau 11 ci-après les consommations par sous-bassin pour cette année 1997. Les sous-bassins sont ceux étudiés dans la section 2 de ce rapport. Tous les prélèvements agricoles, rapprochés et éloignés, sont ici désormais pris en compte.

4.3.2.2 Solution 2 : les différences de pression de prélèvement sur les sous-bassins sont prises en compte.

La solution précédente présente l'inconvénient de ne pas prendre en compte les différences de pression sur la ressource qui existent entre les sous-bassins. On rappelle ci-dessous les indices de pression de prélèvement qui ont été défini en section 2.

Sous-bassin	Indice de pression (m3/ha)
Bassin de l'Auron "entre le Dun et l'Ormediot"	49
Bassin de la Rampenne	74
Bassin de l'Airain entre Savigny et Lugny	45
Bassin de l'Yèvre en amont de Savigny, hors Airain	41
Bassin du Colin, Ouatier, Langis (dont l'Yèvre entre Savigny et Bourges)	134

Tableau 9 : indices de pression pour les sous-bassins du groupe 1

De façon opérationnelle, il s'agit alors de ramener tous les sous-bassins à un même niveau de pression. Pour cela, on considère que les consommations de l'année 1997 amènent un niveau de prélèvement acceptable sur les sous-bassins de l'Yèvre à Savigny et de l'Auron à l'Ormediot. Un facteur correctif sur cette année 1997 doit donc être appliqué aux autres sous-bassins pour atteindre le même niveau de pression.

Les facteurs correctifs suivants, fondés simplement sur les indices de pression du Tableau 9, sont proposés :

Sous-bassin	Année de référence	Facteur correctif lié à la pression de prélèvement actuelle
Bassin de l'Auron "entre le Dun et l'Ormediot"	1997	1
Bassin de la Rampenne	1997	2/3
Bassin de l'Airain entre Savigny et Lugny	1997	1
Bassin de l'Yèvre en amont de Savigny, hors Airain	1997	1
Bassin du Colin, Ouatier, Langis (dont Yèvre entre Savigny et Bourges)	1997	1/3

Tableau 10 : facteurs correctifs du volume attribué par sous-bassin, prenant en compte la pression de prélèvement actuelle

L'impact sur les volumes est présenté dans le tableau suivant.

Origine de l'information	Données de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne (mars – octobre 1997)		Estimations d'après les hypothèses de répartition du paragraphe 2.2.2.2			
Période			Juillet		Août	
Solution 1 = année 1997; solution 2 = année 1997 corrigée par un facteur de pression	Solution 1	Solution 2	1	2	1	2
Bassin de l'Airain à Savigny	1 167	*1 167*	392	*392*	269	*269*
Bassin de l'Yèvre à Savigny hors Airain	1 456	*1 456*	489	*489*	336	*326*
Bassin de l'Auron entre l'Ormediot et Dun-sur-Auron	1 788	*1 788*	601	*601*	413	*413*
Bassin de la Rampenne	1 550	*1 033*	521	*347*	358	*238*
Bassin du Colin Ouatier Langis (dont Yèvre entre Savigny et Bourges)	5 160	*1720*	1 734	*578*	1 192	*397*
Total groupe 1	**11 120**	***7 164***	**3 736**	***2 407***	**2 569**	***1 643***

Tableau 11 : volumes consommés par l'agriculture pour l'année 1997 (en milliers de m^3), estimation de la répartition par mois et corrections en fonction d'un facteur de pression

4.3.3 Le cas du Canal de Berry

Il est évident comme nous l'avons déjà évoqué, que les dérivations du Canal de Berry ont un impact très important sur le débit de l'Auron. Cependant, si cette situation devait changer, elle conduirait non pas à une augmentation des volumes exploitables par les autres usages, mais à une révision à la hausse du débit seuil à l'Ormediot. En effet, le débit de 210 l/s étant calculé à partir des données des années passées, il intègre donc l'influence du Canal, ainsi que toutes les références de débit sur cette rivière. Il conviendrait donc de le réviser si l'alimentation en eau du Canal venait à être améliorée.

4.4 Conclusion sur la partie 4

La détermination d'un volume de référence exploitable sur le bassin Yèvre Auron pose la contradiction entre la notion de **gestion d'un stock**, sous-jacente derrière la notion de gestion volumétrique, et la réalité du bassin Yèvre Auron à savoir la **gestion d'un débit**, formé par les pluies, dépendant du climat et soutenu par un réservoir souterrain à vidange rapide et à faible inertie.

La démarche exposée ici, fondée sur une approche statistique des débits, permet néanmoins, en l'absence de modélisation plus poussée, d'estimer des volumes de référence pour les sous-bassins du groupe 1 (ces sous-bassins sont définis en section 2.3). Pour cela, les objectifs d'état des cours d'eau choisis sont :

- Pour l'Auron à l'Ormediot : 7 années sur 10, un débit seuil de 210 l/s non dépassé par le bas en juillet et non dépassé plus de 5 jours en août
- Pour l'Yèvre à Savigny : 7 années sur 10, un débit seuil de 80 l/s non dépassé par le bas en juillet et non dépassé plus de 5 jours en août

Le résultat sur les volumes exploitables conduit à proposer deux approches :

- La première consiste à choisir de ramener tous les prélèvements à une année de référence (globalement et non individuellement), de façon à ce que les **efforts réalisés sur tous les sous-bassins soient équivalents**. Cette **année de référence** pourrait être 1997. Cela conduirait pour les sous-bassins du groupe 1, à un **volume global de 6,3 Mm^3** pour juillet et août cumulés.
- La seconde consiste à **tenir compte des différences de pressions de prélèvement entre les sous-bassins**. Cela reviendrait à appliquer un facteur correctif à certains sous-bassins par rapport à une année de référence globale. Les facteurs correctifs proposés sont rappelés dans le Tableau 10. Cela conduirait pour les sous-bassins du groupe 1 à un **volume global de 4 Mm^3** pour juillet et août cumulés.

On rappelle enfin que les sous-bassins du groupe 2, pour lesquels la pression de prélèvement actuelle reste suffisamment faible pour que le « partage » d'une ressource limitée n'ait pas encore de sens, ne sont pas concernés ici.

5 Un indicateur d'état de la ressource disponible au 1er janvier ?

5.1 Mieux maîtriser les risques et la prise de décisions

Si le semis du maïs est réalisé au printemps et l'irrigation de cette culture démarrée en général en juin, le choix des assolements sur l'exploitation est quant à lui fait dès l'hiver. Disposer à ce moment là d'indications sur l'état de la ressource permettrait d'appuyer la prise de décision.

L'objectif de la démarche qui suit est de déterminer, à partir des données statistiques disponibles sur les différents piézomètres et les cours d'eau, des indicateurs qui puissent, à partir du 1er janvier et jusqu'au mois de septembre, donner une idée de l'état et de l'évolution probable de la ressource, en fonction d'un objectif de débit en rivière.

5.2 Un indicateur fondé sur l'évolution annuelle du niveau de la nappe

5.2.1 Relation entre le niveau de la nappe au 1er septembre et l'étiage de la rivière

Le niveau de la nappe au 1er septembre est un bon marqueur de la sévérité de l'étiage de l'année. On a en effet constaté une bonne corrélation entre ce niveau et l'étiage de l'année. On cherche alors à définir une gamme de hauteurs de nappe qu'il faudrait pouvoir atteindre au 1er septembre pour respecter un objectif de débit en rivière. Cette démarche s'appuie donc sur les relations nappe-rivière discutées dans la section 1.4 de ce rapport.

On utilise pour cela les données de niveau de nappe et de débit en rivière enregistrées du 15 août au 15 septembre sur les années disponibles.

Pour l'Auron à l'Ormediot par exemple, on peut alors définir sur le graphique suivant deux valeurs repère[15] pour le niveau de la nappe au 1er septembre :

- Une valeur haute, pour laquelle on peut constater qu'historiquement, pour seulement 15% des cas où l'on a été au-dessus de cette valeur entre le 15/08 et le 15/09, le débit de la rivière a été au-dessous de 210 l/s.
- Une valeur basse, pour laquelle on peut constater à l'inverse que 85% des fois où l'on a été en dessous de cette valeur, le débit de la rivière a été en dessous de 210 l/s.

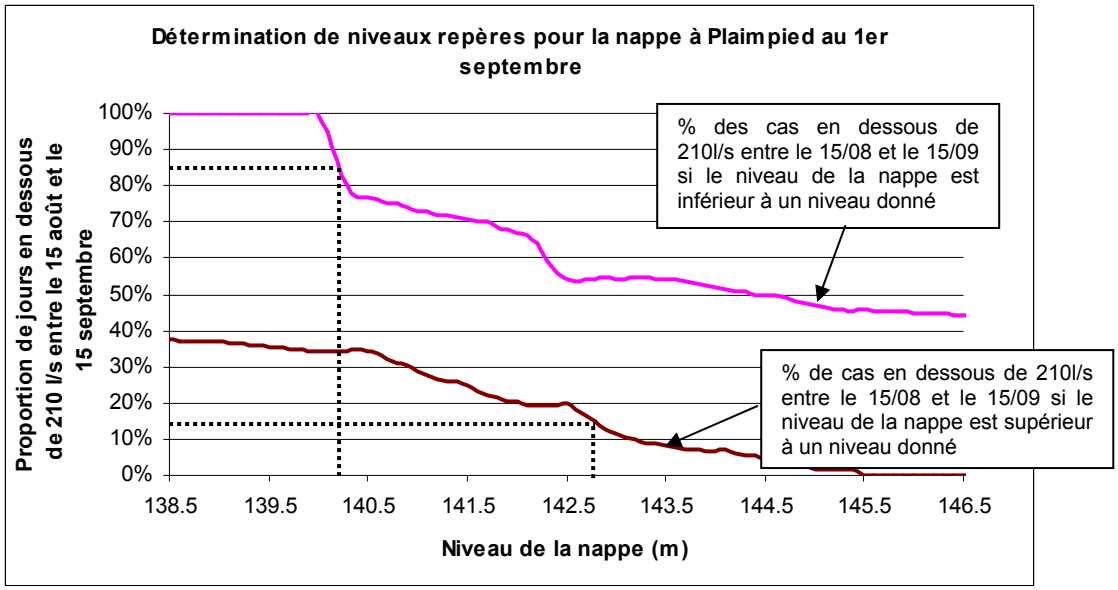


Figure 19 : détermination de valeurs repère de la nappe à Plaimpied au 1er septembre

[15] Il est important de distinguer ici ces valeurs repère, définies pour une date donnée, des valeurs seuils (alerte ou crise) déjà existantes sur certains piézomètres et définies dans l'absolu.

On obtient alors trois classes de hauteur de nappe :

- La classe « haute » pour laquelle la situation sera satisfaisante,
- La classe « basse » pour laquelle la situation sera mauvaise
- La classe intermédiaire qui est une zone d'incertitude dans laquelle la situation de la rivière ne dépend plus seulement du niveau de la nappe, mais également des pluies

Pour certains piézomètres (Vornay, Osmery), il n'existe quasiment pas de classe intermédiaire (voir Annexe 11)

5.2.2 Quelle probabilité pour un étiage sévère en partant d'un niveau de nappe donné au 1er Janvier ?

A chaque premier du mois, on peut définir une classe haute, intermédiaire et basse. Ces classes sont définies de façon à ce que lorsqu'on est en classe haute par exemple au 1er mai, on rencontre historiquement plus de cas où l'on restera dans cette classe haute jusqu'au 1er septembre, que de cas où l'on en sortira (pour se retrouver en classe intermédiaire, voire basse)

Cela se traduit graphiquement par deux courbes, l'une haute, l'autre basse. Chaque mois, on définit un indice de confiance, marqueur de la fiabilité de l'information apportée par l'indicateur piézométrique :

- Indice 0 : indicateur non pertinent
- Indice 1 : confiance faible
- Indice 2 : confiance assez bonne
- Indice 3 : confiance bonne

Ces indices de confiance sont déterminés à partir des données historiques, en fonction des probabilités obtenues de « rester » ou de « sortir » de la même classe. Cela se traduit pour Plaimpied sur le Tableau 12. On y lit par exemple au mois de janvier que 4 années sur les 15 années disponibles se sont trouvées en classe basse en janvier. Sur ces 4, toutes se sont retrouvées en classe basse en septembre. L'indice de confiance peut donc être donné à 3, son maximum. A l'inverse, pour ce même mois de janvier, 10 années se sont trouvées historiquement en classe intermédiaire. Sur ces 10, seules

5 ont fini en classe intermédiaire en septembre : l'information apportée est donc peu pertinente, l'indice de confiance donné est faible.

Si au mois de :	on a atteint pendant les années 1989 à 2003 la classe piézométrique suivante :	voici le nombre d'années pour lequel on a atteint en septembre de la même année la classe piézométrique :				
		Haute	Intermédiaire	Basse	Total	Indice de confiance
Janvier	Haute	1	0	0	1	1/1
	Intermédiaire	5	5	0	10	5/10
	Basse	0	0	4	4	4/4
Février	Haute	2	0	0	2	2/2
	Intermédiaire	4	5	0	9	5/9
	Basse	0	0	4	4	4/4
Mars	Haute	3	0	0	3	3/3
	Intermédiaire	3	5	0	8	5/8
	Basse	0	0	4	4	4/4
Avril	Haute	4	0	0	4	4/4
	Intermédiaire	1	4	1	6	4/6
	Basse	1	1	3	5	3/5
Mai	Haute	6	0	0	6	6/6
	Intermédiaire	0	4	0	4	4/4
	Basse	0	1	4	5	4/5
Juin	Haute	6	0	0	6	6/6
	Intermédiaire	0	4	0	4	4/4
	Basse	0	1	4	5	4/5
Juillet	Haute	6	0	0	6	6/6
	Intermédiaire	0	5	0	5	5/5
	Basse	0	0	4	4	4/4
Août	Haute	6	0	0	6	6/6
	Intermédiaire	0	5	0	5	5/5
	Basse	0	0	4	4	4/4

Tableau 12 : grille de lecture de l'indicateur pour Plaimpied et indice de confiance

5.2.3 Indicateurs proposés

Les 3 indicateurs proposés en pages suivantes sont ceux pour lesquels les résultats pour une prévision à moyen terme ont été les meilleurs.

Les piézomètres de Vornay ou Osmery quant à eux présentent des variations trop rapides qui permettent bien de prévoir le débit immédiat dans la rivière mais mal d'anticiper les évolutions. Pour ces piézomètres on arrive d'ailleurs mal à distinguer une classe intermédiaire : la relation avec la rivière étant très forte, la zone d'incertitude n'existe pratiquement pas. Soit on est durablement au-dessus du débit objectif en rivière, soit on est en dessous.

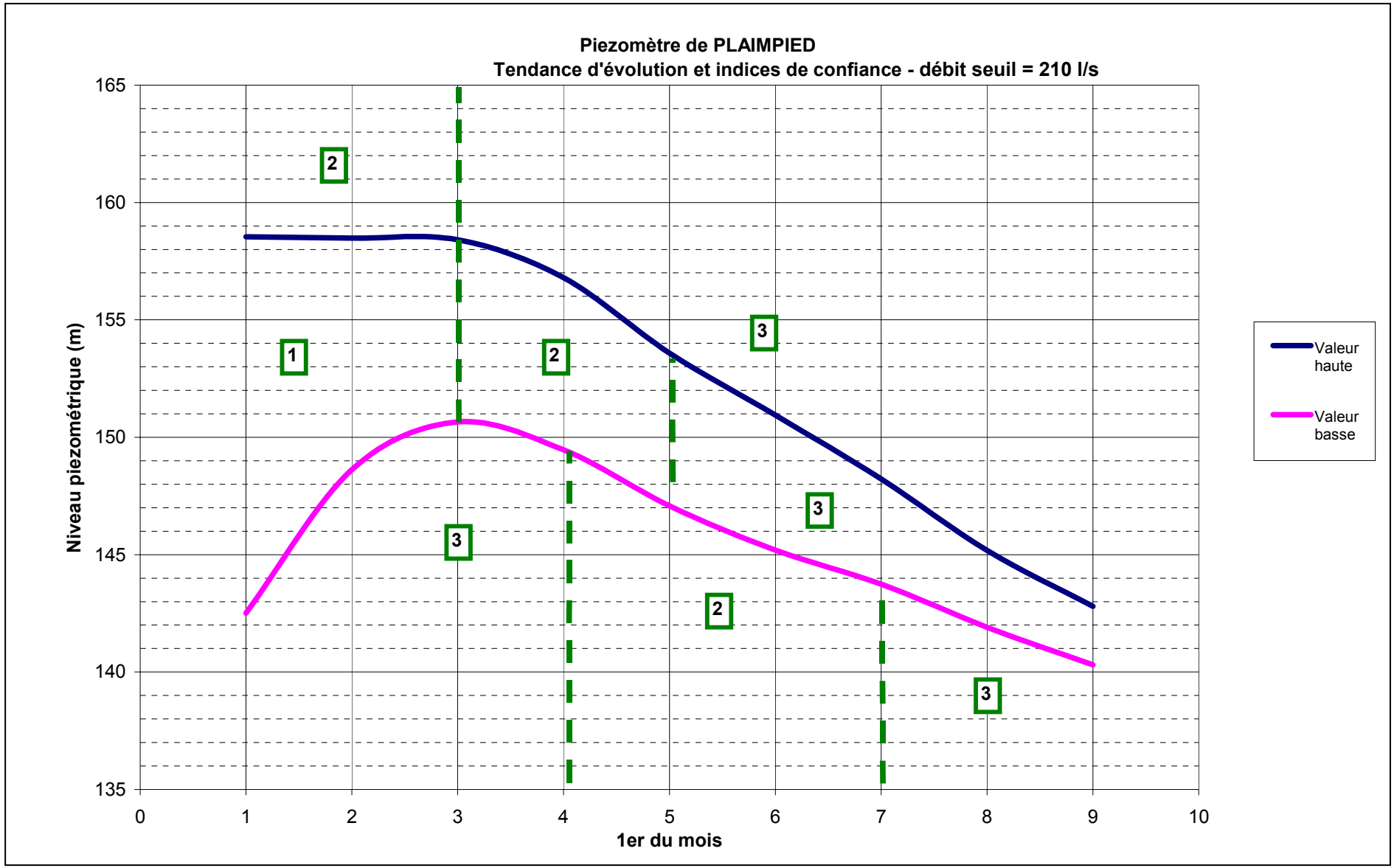
Remarque : l'indicateur de Rians est présenté pour deux valeurs de débit objectif : 80 l/s et 39 l/s. En effet, les données disponibles à Savigny-en-Septaine ne remontent que jusqu'à 1996 et les situations pour lesquelles un débit de 80 l/s a été tenu au 1er septembre sont peu nombreuses. L'indicateur est donc construit à partir de peu de données, ce qui explique qu'il ne soit pas vraiment satisfaisant. Les données statistiques pour construire l'indicateur « 80 l/s » sont donc réduites et le résultat n'est pas entièrement satisfaisant. A l'inverse, avec la valeur 39 l/s, la forme de l'indicateur peut devenir tout à fait intéressante : les données disponibles pour construire les courbes sont en effet plus nombreuse pour ce débit.

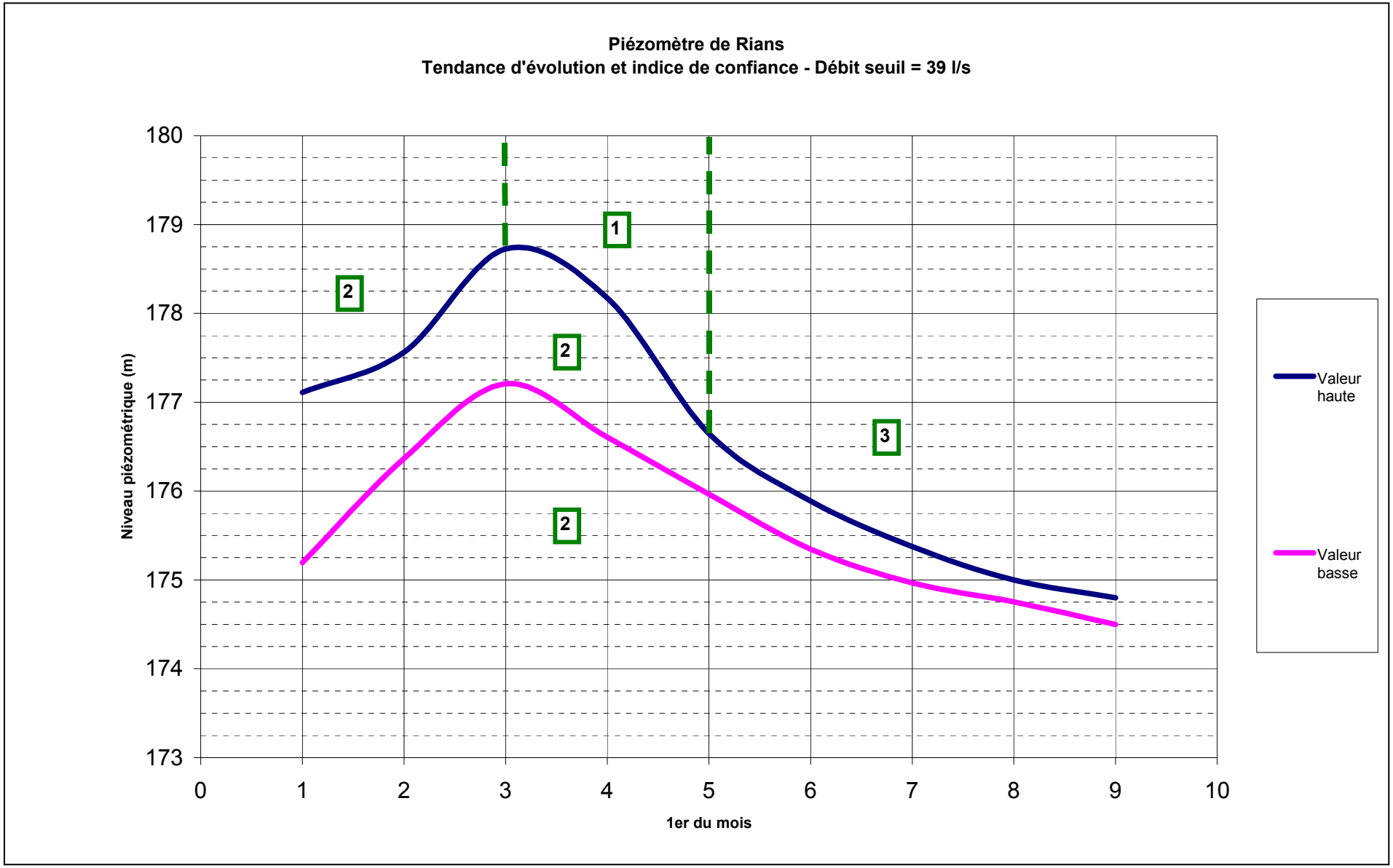
5.2.4 Utilisation pratique et pertinence des indicateurs

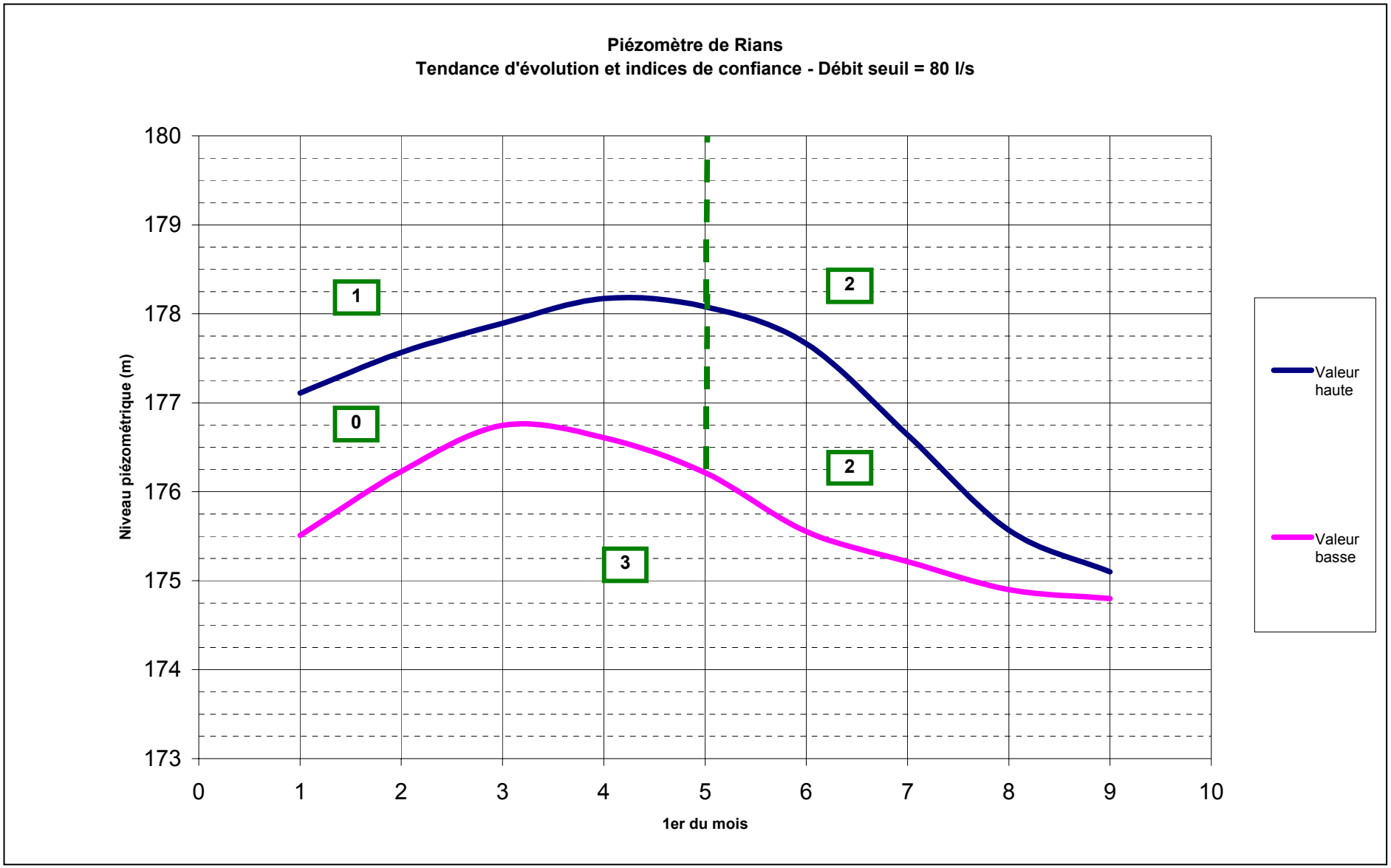
La lecture des indicateurs s'effectue de la manière suivante : pour Plaimpied par exemple (graphique page suivante), si le niveau de la nappe se situe à la cote 154 m au mois d'avril, on se trouve dans la zone intermédiaire, entre la courbe haute et la courbe basse. On a alors plus de probabilité d'être encore entre ces deux courbes en septembre que de ne plus y être. L'indice de confiance 2, c'est à dire assez bon, indique tout simplement que cette probabilité est assez bonne. On vérifie en effet dans le Tableau 12 qu'elle est de 4 sur 6.

Sur l'indicateur de Plaimpied, la qualité de l'indicateur obtenu reste relativement satisfaisante en raison du nombre d'années de mesure disponible relativement important (15). Cependant, l'indice de confiance reste assez faible jusqu'au 1er mars. Avant cette date, seules les informations sur la classe basse sont intéressantes.

L'indicateur de Rians (39 l/s) est réalisé avec moins de données, ce qui explique les indices de confiance plus bas obtenus. Il serait intéressant d'affiner la démarche avec plus de données dans les années à venir. L'indice de confiance est globalement un peu meilleur après le 1er mai, sans que cela reste vraiment très significatif.


Piezomètre de PLAIMPIED
Tendance d'évolution et indices de confiance - débit seuil = 210 l/s
Niveau piezométrique (m)
165
160
155
150
145
140
135
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1er du mois
1
2
3
Valeur haute
Valeur basse


Piézomètre de Rians
Tendance d'évolution et indice de confiance - Débit seuil = 39 l/s
Niveau piézométrique (m)
180
179
178
177
176
175
174
173
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1er du mois
1
2
2
2
3
Valeur haute
Valeur basse


Piézomètre de Rians
Tendance d'évolution et indices de confiance - Débit seuil = 80 l/s
Niveau piézométrique (m)
180
179
178
177
176
175
174
173
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1er du mois
1
0
2
2
3
Valeur haute
Valeur basse

5.3 Conclusion sur la partie 5

Deux indicateurs d'état de la ressource ont été développés :

- L'un sur le piézomètre de Plaimpied, fondé sur un objectif de débit dans l'Auron de 210 l/s
- L'autre sur le piézomètre de Rians, fondé sur un objectif de débit dans l'Yèvre de 39 l/s et de 80 l/s

Chaque indicateur définit pour chaque mois trois classes de hauteur de nappe :

- La classe « haute » pour laquelle la situation est satisfaisante,
- La classe « basse » pour laquelle la situation est mauvaise
- La classe intermédiaire qui est une zone d'incertitude dans laquelle la situation de la rivière à l'étiage ne dépendra plus seulement du niveau de la nappe, mais également des pluies

Un **indice de confiance** vient compléter le dispositif : il permet de caractériser la fiabilité de l'information fournit par l'indicateur mois par mois.

Il ne s'avère pas possible de définir des indicateurs d'état de la ressource entièrement efficace au 1er janvier. Les 2 indicateurs peuvent cependant être utilisés en l'état pour une **prévision de l'évolution de la ressource et une anticipation des mesures de restriction** sur les prélèvements dès le printemps, voire dans certaines situations dès l'hiver (nappe très basse). Cet aspect **opérationnel** sera développé dans la partie 6. Cependant il est nécessaire de **réviser les indicateurs périodiquemen**t au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données.

6 Systèmes de gestion volumétrique envisageables sur le bassin Yèvre Auron

6.1 Diagnostic du système Colin Ouatier Langis

6.1.1 Rappel des principes du système

Ce système a été mis en place depuis 2001 sur les sous-bassins du Colin, de l'Ouatier et du Langis. Seules les surfaces en maïs sont concernées par une attribution de volume. La consommation maximale autorisée est de 2300 m^3 par hectare de maïs : cela correspond aux besoins de la plante en année quinquennale sèche pour une réserve utile des sols de 100 mm. Ce volume est réparti plus finement par période, en fonction du calendrier cultural. Il est susceptible d'être révisé si les seuils d'alerte ou de crise sont dépassés.

Cette mesure de diminution du volume attribué remplace les mesures d'interdiction préfectorales pouvant être prises au niveau départemental. Elle s'applique en cas d'atteinte des seuils d'alerte et de crise définis sur les piézomètres de Rians ou Etrechy. En cas d'alerte, le volume restant à consommer est diminué de 15%. En cas de crise, il est diminué de 30%. Les seuils d'alerte et de crise sont les suivants :

- Seuil d'alerte : Etrechy : -19,25 m / Rians : -17,50 m
- Seuil de crise : Etrechy : -19,75 m / Rians : -17,75 m

L'objectif affiché du système est d'éviter les assecs dans les cours d'eau : il s'agit donc d'un objectif minimaliste, qui reste peu fondé sur un objectif plus exigeant de bon état écologique des cours d'eau.

6.1.2 Une démarche intéressante, mais insuffisamment fondée sur la ressource en eau et la maîtrise des risques

Selon les acteurs locaux, la démarche a permis de créer une dynamique et une prise de conscience autour de la gestion de l'eau parmi les agriculteurs concernés. Même si le volume de 2300 m^3 reste élevé, il amène chacun à être vigilant et les plus gros consommateurs à modérer leurs doses d'irrigation.

Cependant, le système proposé présente deux inconvénients majeurs du point de vue des utilisateurs :

- Le quota d'eau étant attribué par hectare de maïs, le système ne permet pas de « récompenser » les irriguants les moins consommateurs d'eau, les plus économes vis à vis de la ressource ou faisant un effort pour faire évoluer leur assolement : en effet, moins l'on fait de maïs, moins l'on a d'eau

- Le système ne permet pas à l'agriculteur de gérer sa prise de risque : tout d'abord, une fois encore le volume étant attribué à l'hectare, il n'est pas possible de se créer une marge de sécurité en semant moins de maïs pour sécuriser l'eau sur le reste des cultures. De plus, le système ne fournit pas d'indication sur l'état de ressource, à la fois au moment de la prise de décision sur l'assolement de l'exploitation (hiver) mais également après les semis (printemps).

Du point vue de la gestion de la ressource, un troisième inconvénient apparaît : le système Colin Ouatier Langis n'est pas basé sur l'évaluation d'une ressource disponible mais sur l'évaluation des besoins du maïs. Cependant, les surfaces en maïs étant globalement constantes ces dernières années, cela garantit de ne pas dépasser un certain volume total.

La contrainte maximale qui peut être imposée sur le système, en cas de situation catastrophique, est une réduction de 30% des volumes alloués. Si l'on part sur la base de 2900 ha déclarés irrigués à la PAC en 2004 sur le sous-bassin de l'Yèvre moyenne (légèrement plus étendu que la seule zone Colin-Ouatier-Langis), cela ferait donc un volume total de : 2900 ha * 2300 m^3/ha * 70% (réduction de 30%) = 4,6 Mm^3. Dans ces conditions, le système est donc capable au maximum d'imposer un volume de 4,6 Mm^3.

Ce volume est à comparer aux données de l'année 1997, prise comme référence un peu plus haut dans cette étude : nous arrivons alors à un volume de 3,6 Mm^3 entre juin et août.

Cette comparaison suggère que le système de gestion volumétrique Colin-Ouatier-Langis ne permet pas d'assurer une réduction suffisante de la pression des prélèvements. Dans la réalité, les volumes consommés sont en fait bien inférieurs aux volumes autorisés ce qui assure une pression moindre des prélèvements : on peut penser que le volume de référence de 2300 m^3/ha reste à ce titre très élevé et peu contraignant dans l'ensemble.

Malgré une dynamique intéressante et des résultats sur la prise de conscience de nécessaires économies d'eau, le système de gestion volumétrique Colin-Ouatier-Langis reste donc à améliorer vis-à-vis de la maîtrise des risques par l'irriguant. Les efforts d'économie d'eau ne sont pas valorisés : l'eau économisée ne peut pas être utilisée par ailleurs. Le système est enfin insuffisamment fondé sur les limites de la ressource en eau. En conclusion, il conviendrait de poursuivre ce système tout en l'améliorant.

6.2 Outils et cadre pour une gestion volumétrique sur le périmètre du SAGE Yèvre Auron

6.2.1 Cadre réglementaire existant

On rappelle ci-dessous brièvement le cadre réglementaire existant pour la gestion quantitative de la ressource[16]. L'inscription de la gestion volumétrique proposée dans ce cadre réglementaire sera détaillée en section 6.3 ci-après.

6.2.1.1 Autorisations et déclarations[17]

Quelle que soit la zone dans laquelle on se situe, les autorisations doivent être délivrées en fixant les débits et volumes annuels exploitables. L'arrêté d'autorisation peut, le cas échéant, préciser la ou les périodes de prélèvement. Il peut également fixer, si nécessaire, plusieurs niveaux de prélèvements en fonction des périodes de l'année ou des ressources disponibles. Les ouvrages sont munis de compteurs (ou au minimum d'un moyen d'évaluation des volumes prélevés). Les exploitants tiennent à

[16] Source : DIREN Centre SEMA
[17] Décrets 92-742 et 743; arrêtés ministériels du 11/09/2003; circulaire du 16 mars 2004

jour un registre des volumes prélevés, mois par mois. Ils tiennent ces données à la disposition de l'administration pendant trois ans.

En zone de répartition des eaux, ce qui est le cas de la Nappe Intensément Exploitée Yèvre Auron, les seuils d'autorisation et de déclaration sont abaissés. Chaque année les exploitants transmettent à l'administration les valeurs ou les estimations des volumes prélevés mensuellement et sur l'année civile ou la campagne, ainsi que, pour les prélèvements par pompage, le relevé de l'index du compteur volumétrique, en fin d'année civile ou de campagne. Tant que le déséquilibre n'a pas été résorbé, aucune autorisation nouvelle ne peut être accordée.

6.2.1.2 Gestion de crise[18]

Lorsque les conditions l'exigent (situation des nappes ou des cours d'eau), le préfet peut suspendre ou limiter les usages de l'eau et donc les volumes de prélèvements autorisés ou déclarés. Ces mesures doivent être proportionnées au but recherché. Le guide méthodologique du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable définit un certain nombre de principes parmi lesquels :

- La définition d'un seuil de crise renforcé (actuel DCR) qui, lorsqu'il est franchi, entraîne la suspension de tous les usages non-prioritaires, donc de l'irrigation ;
- La définition d'un seuil d'alerte et d'un seuil de crise (ou seuil intermédiaire) en dessous desquels des mesures de limitations sont progressivement mises en œuvre de manière à ne pas atteindre le seuil de crise renforcé ;
- L'anticipation de la crise.

Le recours à cette gestion de crise devrait intervenir le plus rarement possible. Si tel n'est pas le cas, il y a déséquilibre entre la ressource et les prélèvements. Ce déséquilibre doit être résorbé.

[18] Décret 92-1041; guide méthodologique du MEDD

6.2.2 Détermination d'une structure porteuse

Le projet de loi sur l'eau dans sa version du 14 avril 2005 après 1ère lecture au Sénat prévoit dans son article 14 la **possibilité de confier à un organisme qualifié la répartition des volumes d'eau d'irrigation : l'organisme mandataire devient alors le titulaire de l'autorisation.**

Cette disposition pourrait s'avérer intéressante pour la mise en œuvre opérationnelle de la gestion volumétrique sur le bassin Yèvre-Auron. Sans attendre son application, il paraît néanmoins essentiel qu'une structure porteuse soit définie pour mettre en place et conduire le processus de gestion volumétrique chaque année. Les actions qui pourraient être à la charge de cette structure sont décrites dans la suite.

6.2.3 Tous les sous-bassins du périmètre SAGE sont concernés

Il est important que le principe de gestion volumétrique soit appliqué sur l'ensemble du périmètre du SAGE. Sur certains sous-bassins, cela consistera en un « partage » d'une ressource limitée (groupe 1, voir définition en section 2.3). Sur d'autre, il s'agira simplement d'attribuer un volume limité par exploitation agricole (groupe 2) : pour ces sous-bassins en effet, la pression de prélèvement actuelle reste suffisamment faible pour que le « partage » d'une ressource limitée n'ait pas encore de sens.

On définit ainsi :

Groupe	Type de gestion volumétrique	Sous-bassins concernés
Groupe 1	Partage d'un volume global limité entre les exploitations. Gestion à partir d'indicateurs piézométriques et de stations de mesure en rivière.	■ L'Auron entre Bourges et Dun-sur-Auron (lieu-dit le Chant), la Rampenne et l'Airain (à l'aval de Lugny) ■ L'Yèvre à l'amont de Bourges
Groupe 2	Attribution d'un volume limité par exploitation. Gestion à partir de stations de mesures en rivière.	■ Le reste du bassin versant du SAGE Yèvre-Auron.

6.2.4 Indicateurs piézométriques

Comme indiqué dans le tableau ci-dessus, les indicateurs liés au niveau de la nappe ne seraient utilisés que pour les sous-bassins du groupe 1, c'est à dire pour les pompages dans la nappe des calcaires de l'Oxfordien supérieur. Les sous-bassins du groupe 2 sont en effet en dehors du système de la nappe de l'Oxfordien supérieur.

Les indicateurs proposés sont ceux basés sur :

- le piézomètre de Plaimped pour le bassin de l'Auron
- le piézomètre de Rians pour le bassin de l'Yèvre en amont de Bourges

Ils sont présentés en section 5.2.3. Chaque indicateur est constitué d'une courbe de niveau haut de la nappe et d'une courbe de niveau bas.

6.2.5 Proposition de débits objectifs en rivière

6.2.5.1 Pour les sous-bassins du groupe 1

Sur la base des justifications présentées tout au long de ce rapport, les débits de crise et d'alerte pourraient être définis comme suit pour les sous-bassins du groupe 1 :

Sous-bassins du groupe 1	Auron à l'Ormediot	Yèvre à Savigny
Débit d'alerte	2* débit de crise = 420 l/s	2* débit de crise = 160 l/s
Débit de crise	210 l/s	80 l/s

Cependant, il serait intéressant dans l'avenir de disposer de stations de mesures et de débits de références à une échelle géographique plus précise, afin de mettre en place une gestion volumétrique plus fine, fondée sur le respect d'objectifs définis plus près du lieu de prélèvement et prenant mieux en compte les exigences de bon état des cours d'eau. Il pourrait d'agir notamment :

- d'utiliser la station de mesure existante sur l'Ouatier à Maubranche lorsqu'il sera possible d'y définir des débits de référence (nombre d'années de mesure aujourd'hui insuffisant)

- d'installer de nouvelles stations de mesure sur le Colin, le Langis et la Rampenne
- de réaliser des évaluations plus nombreuses et plus critiques du débit minimum biologique des cours d'eau (prenant notamment en compte des possibilités de travaux pour le rétablissement de la morphologie des cours d'eau)

6.2.5.2 Pour les sous-bassins du groupe 2

Pour les sous-bassins du groupe 2, la station de référence pourrait être celle utilisée dans l'actuel protocole sécheresse, à savoir :

Sous-bassins du groupe 2	L'Yèvre à Bourges (blv de l'Avenir)
Débit d'alerte	1,5* débit de crise = 1620 l/s
Débit de crise	1080 l/s (débit réglementaire du 1/10ème du module)

Cependant, comme on l'a vu plus haut dans ce rapport, les mesures de débit à cette station sont susceptibles d'être biaisées (bras de décharge de l'Yèvre dans le Moulon).

Pour une gestion plus fine, il serait intéressant de disposer à la fois d'une mesure plus fiable sur la station de l'Yèvre à Bourges mais également de plus de points de contrôle notamment :

- Sur l'Auron au Pondy
- Sur le Moulon
- Sur l'Yèvre à l'aval de Bourges

Si pour l'Yèvre à l'aval de Bourges les données actuelles ne permettent pas de définir actuellement de débits de référence, il serait néanmoins possible d'individualiser la gestion du Moulon et de l'Auron amont en prenant comme référence les données des stations existantes :

Variante pour les sous-bassins du groupe 2	Yèvre à Bourges	Moulon	Auron au Pondy
Débit d'alerte	1,5* débit de crise = 1620 l/s	2* débit de crise = 200 l/s	2* débit de crise = 180 l/s
Débit de crise	1080 l/s	1/10ème du module = 100 l/s	1/10ème du module = 90 l/s

6.3 Déroulement d'une campagne d'irrigation et inscription dans le cadre réglementaire

Le déroulement proposé est repris sous forme de calendrier plus loin (Figure 20 page 80)

► *Les implications réglementaires liées aux différentes étapes ci-dessous sont précédées d'une flèche bleue et sont en italique.*

6.3.1 Détermination d'un volume global de référence pour les mois de juillet et d'août (sous-bassins du groupe 1)

Pour les sous-bassins du groupe 1, qui se partagent une ressource limitée, un volume global de référence, caractérisant cette ressource limitée, doit être défini pour les mois de juillet et d'août (en dehors de cette période, cela n'a pas tellement de sens, en l'état actuel des choses, de définir un volume maximum exploitable).

Il a été proposé pour cela deux approches en section 4.3 :

- L'une proposant de s'appuyer sur les consommations d'une même année de référence pour l'ensemble des sous-bassins du groupe 1
- L'autre proposant d'appliquer aux volumes prélevés pour cette année de référence un facteur correctif afin de prendre en compte les différents niveaux de prélèvement existant sur les sous-bassins.

Les volumes correspondant à ces deux approches ont été présentés dans le Tableau 11 page 55.

Il appartiendra à la CLE de fixer ces volumes de référence. Ils seront définis de manière **temporaire**, dans la limite des connaissances actuelles, et **pourront être révisés** par la suite si ces connaissances évoluent.

6.3.2 Ajustement du volume global de référence au 1er février (sous-bassins du groupe 1)

- Les décisions d'assolement étant prises en hiver, un premier ajustement de ce volume peut être réalisé à la date du 1er février, sur la base des 2 indicateurs piézométriques. Il est proposé que le volume global de référence puisse être minoré de –30% si le niveau de la nappe est en dessous de la « valeur basse » (courbe inférieure de l'indicateur).

- Pour les sous-bassins du groupe 2, il n'y a pas de volume de référence déterminé et pas d'indicateur piézométrique.

Remarque : on peut proposer une majoration du volume global si le niveau de la nappe est au-dessus de la valeur haute de l'indicateur au 1er février. Cependant, les indicateurs piézométriques montrent une moins grande fiabilité pour ces valeurs hautes et l'on risque d'autoriser un volume supplémentaire qui ne sera pas disponible. On prend alors le risque d'aggraver la situation.

► *Les volumes globaux de référence pour les sous-bassins du groupe 1 sont fixés par **arrêté préfectoral** le 1er février de chaque année, après consultation de la structure porteuse de la gestion volumétrique.*

6.3.3 Attribution d'un volume d'eau mois par mois par exploitation (ensemble du territoire du SAGE)

Cette répartition est réalisée au 1er février, selon une des méthodes proposées plus loin en paragraphe 6.4. Elle concerne tous les sous-bassins (groupes 1&2). Pour les sous-bassins du groupe 1, les volumes attribués individuellement pour les mois de juillet et août seront limités par le volume global de référence défini plus haut par sous-bassin.

Elle aboutit à un volume d'eau attribué à chaque exploitation mois par mois. Ce volume devient la base des restrictions qui pourront être imposées au cours de la campagne d'irrigation.

- *Les autorisations de prélèvement sont portées chaque année par **arrêté préfectoral**, comme c'est le cas actuellement.*

- *Il ne semble pas nécessaire que les volumes individuels soient définis par arrêté préfectoral. La structure porteuse de la gestion volumétrique aura pour tâche de réaliser la répartition individuelle du volume collectif. Elle informera chaque irriguant individuellement du volume de référence qui lui est attribué. Cette information sera donnée au 1er février.*

6.3.4 Majoration / minoration du volume d'eau individuel en fonction du niveau de la nappe (sous-bassins du groupe 1)

Pour les sous-bassins du groupe 1, qui disposent d'indicateurs piézométriques, il est proposé que le franchissement de valeurs repères de cet indicateur puisse donner lieu à l'ajustement du volume mensuel à partir du 1er avril selon la règle suivante :

- Sur la base de l'indicateur piézométrique à fin mars, le volume individuel attribué pour avril peut être modifié. L'annonce de cet ajustement est faite au plus tard 10 jours avant le 1er avril. Ce volume peut être majoré de +15% si l'indicateur piézométrique est au-dessus de la courbe haute, ou minoré de –30% si l'indicateur piézométrique est en dessous de la courbe basse.

- Ainsi de suite pour les autres mois jusqu'à la fin de la campagne d'irrigation.

- *Le Préfet met en œuvre les mesures d'ajustements des volumes mensuels par arrêté à chaque fin de mois, après consultation de la structure porteuse de la gestion quantitative.*

Remarque : pour les mois de juillet et août, les réductions de volume se cumulent aux réductions éventuellement déjà mises en place au 1er février.

6.3.5 Minoration du volume d'eau individuel en fonction du débit en rivière.

Le volume individuel mensuel peut être également minoré si le débit de la rivière passe en dessous du débit d'alerte ou du débit de crise.

Cette disposition s'applique **à l'ensemble du territoire du SAGE**.

On propose la règle suivante : le volume mensuel par exploitation peut être réduit de la façon suivante :

- 2% du volume mensuel par jour de crise dans le mois
- 0,5% du volume mensuel par jour d'alerte dans le mois

Afin de rendre cohérentes ces restrictions avec celles imposées par le niveau de nappe, on propose les règles complémentaires suivantes :

- Elle est cumulable avec la réduction imposée par le niveau de la nappe.
- La réduction de volume totale imposable est plafonnée à 50% par mois.

► *Le franchissement des seuils est constaté par la structure porteuse de la gestion volumétrique. Le franchissement des seuils d'alerte et de crise est validé par **arrêté préfectoral**. L'arrêté levant la situation d'alerte ou de crise précise le nombre de jours pendant lesquels ont duré l'alerte ou la crise.*

Exemple 1 : au 1er juin le niveau de la nappe est entre le niveau haut et le niveau bas. Le volume de référence de juillet reste alors inchangé. Au 15 juillet, le débit de la rivière est tel que l'on entre en crise jusqu'au 20 juillet, soit 6 jours de crise. La réduction imposée sur le volume individuel de juillet est donc de : 6*2% = 12%.

Exemple 2 : au 1er juin, le niveau de nappe est en dessous du niveau bas. Une réduction de 30% est alors imposée sur le volume de juillet. Au 10 juillet, le débit de la rivière est tel que l'on entre en alerte. Au 15 juillet on entre en crise et ce jusqu'au 20 juillet où une pluie survient. Soit 5 jours d'alerte et 6 jours de crise. La réduction imposée sur le volume de juillet est de 30% + 5*0,5% + 6*2% = 44,5%.

Exemple 3 : au 1er juin, le niveau de nappe est en dessous du niveau bas. Une réduction de 30% est alors imposée sur le volume de juillet. Au 10 juillet, le débit de la rivière est tel que l'on entre en alerte. Au 10 juillet on entre en crise et ce jusqu'au 20

juillet où une pluie survient. Soit 11 jours de crise. La réduction imposée sur le volume de juillet devrait être de 30% + 11*2% = 52%, mais elle reste plafonnée à 50%.

6.3.5.1 Contrôle des volumes consommés

Il est proposé que le contrôle des volumes consommés soit réalisé à travers un **relevé mensuel des compteurs au 1er du mois, du 1er avril au 1er octobre.**

- La cohérence des consommations mensuelles avec le volume individuel attribué (diminué éventuellement en fonction des différentes restrictions appliquées) sera vérifiée par la structure porteuse de la gestion volumétrique.

Le découpage mensuel des relevés nécessite d'introduire une certaine souplesse afin de prendre en compte les décalages des irrigations réelles par rapport à un calendrier théorique. Ainsi, il serait souhaitable que :

- le volume d'un mois puisse être reporté sur le mois suivant ou le mois précédent, par exemple à hauteur de 20%.

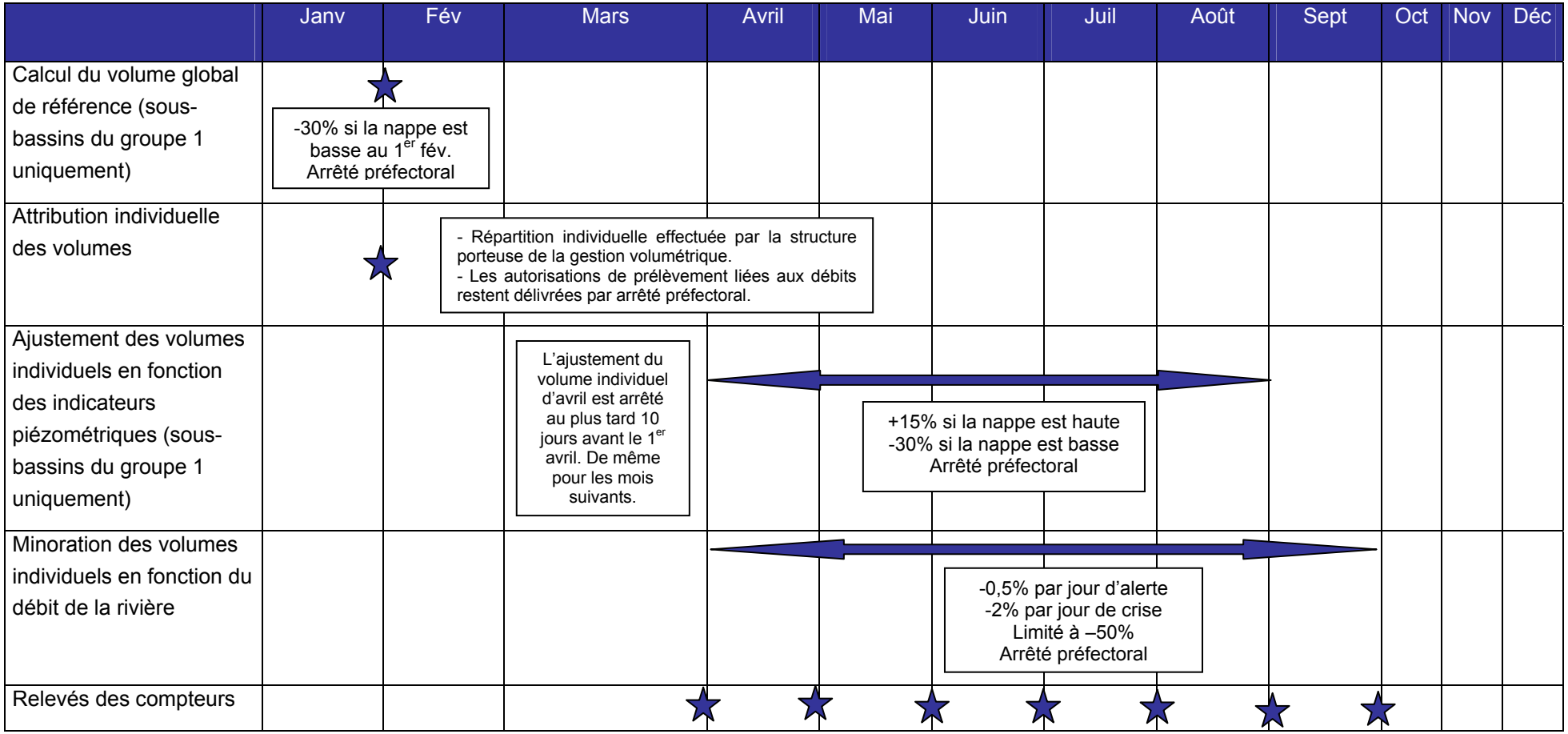


Figure 20 : calendrier de synthèse du déroulement d'une campagne d'irrigation dans le cadre de la gestion volumétrique proposée

6.4 Attribution individuelle d'un volume d'eau

Pour l'ensemble de la zone SAGE, la clé d'attribution de volumes d'eau à l'échelle des exploitations sera la même. Cependant pour les sous-bassins du groupe 1, le volume global attribué par sous-bassin ne doit pas dépasser le volume global de référence calculé au 1er février (voir sections 6.3.1 et 6.3.2). Cela pourra donc entraîner **une différence entre sous-bassins sur les volumes attribués par hectare pour une même culture.**

On décrit ci-dessous trois règles possibles pour affecter un volume d'eau individuel à chaque exploitation agricole :

- La première fondée sur les surfaces irriguées et la nature des cultures
- La seconde fondée sur l'attribution d'un volume d'eau par exploitation en fonction du débit des pompes
- La troisième, en proposant une association des deux premières, fournit une répartition des volumes plus pertinente

6.4.1 Attribution sur la base des surfaces et des cultures irriguées.

Ce mode d'attribution est la base du système utilisé dans le système appliqué à la nappe de la Beauce (voir Annexe 12). Diverses variantes sont possibles. Elles reposent en général sur :

- L'attribution d'un quota par hectare en fonction de la culture irriguée
- Un coefficient correcteur en fonction de la nature des sols sur l'exploitation (un découpage en grandes zones de sols permet alors d'affecter un coefficient à chaque exploitation)

Dans certains départements, un forfait de base est accordé par exploitation en fonction de la SAU irriguée, indépendamment des cultures.

Ce système présente 3 avantages :

- Il reste relativement simple à mettre en place
- Il est fondé sur les besoins réels des exploitations, dans une certaine continuité avec la situation actuelle.
- Lorsqu'il est associé à un forfait par exploitation, il permet d'encourager les efforts sur la baisse des superficies irriguées.

Il présente cependant également un inconvénient important :

- Il repose sur des déclarations individuelles et peut pousser à sur-déclarer des surfaces irriguées afin d'obtenir des quotas. Le système ne pose pas de limites pour encadrer des « sur-déclarations ». Dans le cas où le volume global attribué reste fixe, cela n'a cependant pas d'incidence globale sur la ressource. Il est nécessaire que le système repose sur une responsabilité et une confiance collective (pas de « mauvais joueurs ») ou qu'il soit associé à un système de contrôle efficace.

6.4.2 Attribution sur la base du débit des pompes

Il s'agit ici de trouver une clé de répartition qui ne dépende pas des surfaces irriguées mais qui permette d'attribuer un volume par exploitation indépendamment des surfaces et des cultures irriguées.

L'objectif est d'obtenir un système qui « récompense » les exploitations faisant un effort de maîtrise de leurs consommations en eau. Ainsi, si le volume attribué reste invariant avec la surface irriguée, tout effort réalisé pour diminuer sa consommation sera récompensé par une plus grande souplesse et une plus grande sécurité sur l'approvisionnement en eau.

Le volume attribué individuellement serait alors calculé de façon très simple :

$$Volume_individuel = Volume_unitaire(m^3) * débit_pompes_sur_l'exploitation(m^3/h)$$

Ce système présente cependant trois inconvénients majeurs :

- Il fige une situation existante, créant ainsi une situation de « rente » (le système des autorisations administratives limite l'évolution de la situation actuelle)
- Il peut aboutir à des allocations de volumes très différents des consommations actuelles : en effet, les débits d'équipement à l'hectare peuvent être différents d'une exploitation à l'autre. Le débit des pompes a été initialement dimensionné selon les même règles partout, mais la superficie irriguée a pu évoluer depuis ce dimensionnement initial.
- Si la surface irriguée est réduite dans le futur de façon importante sur une exploitation agricole, le volume attribué à l'exploitation sur la base du débit des pompes peut devenir excessif par rapport aux besoins réels.

6.4.3 Attribution en fonction des cultures, des surfaces irriguées et du débit des pompes

6.4.3.1 Principe

Afin de conjuguer les avantages des ces deux systèmes et d'en atténuer les inconvénients, un troisième système, mixte, a été recherché.

Il repose sur trois éléments :

- Un volume de référence défini par culture et pour chaque mois, éventuellement différent selon la nature des sols (réserve en eau des sols différente)
- Un bonus attribué à l'exploitation en fonction de la réduction de sa surface irriguée par rapport à sa capacité maximale d'irrigation. La capacité maximale de l'exploitation est définie en fonction du débit des pompes.
- Une limite imposée à ce bonus pour éviter l'attribution d'un volume d'eau excessif à une exploitation

Le volume de référence par culture ne peut pas être déterminé a priori pour les sous-bassins du groupe 1. En effet, pour ces sous-bassins, les volumes attribués doivent permettre au final de rester sous le volume maximal calculé pour le sous-bassin, y compris pour les années où ce volume a été minoré au 1er février.

Cependant, de façon pragmatique, pour permettre à chaque irrigant de connaître le volume qui lui est alloué en début de saison, le volume de référence par culture pour les sous-bassins du groupe 1 devra être défini au début de l'année, en s'appuyant sur les surfaces irriguées de l'année précédente, l'évolution attendue pour l'année à venir et le volume global de référence à ne pas dépasser par sous-bassin (y compris donc une éventuelle minoration au 1er février).

Le système proposé est présenté dans la suite à travers un exemple d'application. Les chiffres donnés dans cet exemple le sont comme illustration et ne sont pas destinés à être utilisés pour une application réelle. La définition finale et précise du système devra en effet faire l'objet d'une discussion approfondie et réfléchie dans le cadre du SAGE. L'objectif de la présente étude reste de proposer une méthode.

6.4.3.2 Exemple

Pour chaque exploitation, on définit un volume de référence par hectare, caractéristique de son assolement de l'année et de la nature des sols sur l'exploitation. Dans l'exemple qui suit, on a utilisé le volume de référence du mois de juillet sur une exploitation. Il est calculé de la façon suivante :

Culture irriguée	Surface (ha)	Volume de référence en juillet (m^3/ha)	Coefficient lié au sol (exemple indicatif pour un sol peu profond)	Total (m^3)
Maïs	27	1200 (chiffre pris pour exemple)	1,1	35 640
Autres cultures	5	500 (chiffre pris pour exemple)	1,1	2 750
Total	32	-	-	38 390
Volume de référence de l'exploitation	38 390 / 32 = 1200 m^3/ha (en juillet)			

On procède alors à une lecture sur un abaque, tel que présenté sur les Figure 21 et Figure 22.

Dans cet exemple on a considéré :

- Un volume de référence de l'exploitation de 1200 m^3/ha, comme expliqué ci-dessus
- Un bonus en fonction de la réduction des superficies irriguées : 800 m^3 sont enlevés à l'exploitation pour une diminution de la surface irriguée de 1 ha, et non 1200 m^3.
- Le bonus ainsi obtenu ne peut pas donner lieu à une attribution de plus de (1,4 * 1200 m^3/ha), soit 40 % de plus que le volume de référence de l'exploitation.
- Une hypothèse sur le temps journalier d'irrigation de 20 heures

La lecture sur abaque est proposée ici à titre d'illustration graphique de la méthode, pour une meilleure compréhension. Dans la pratique, le volume attribué pour chaque exploitation agricole peut bien sûr être défini automatiquement par la formulation mathématique simple donnée en Annexe 13.

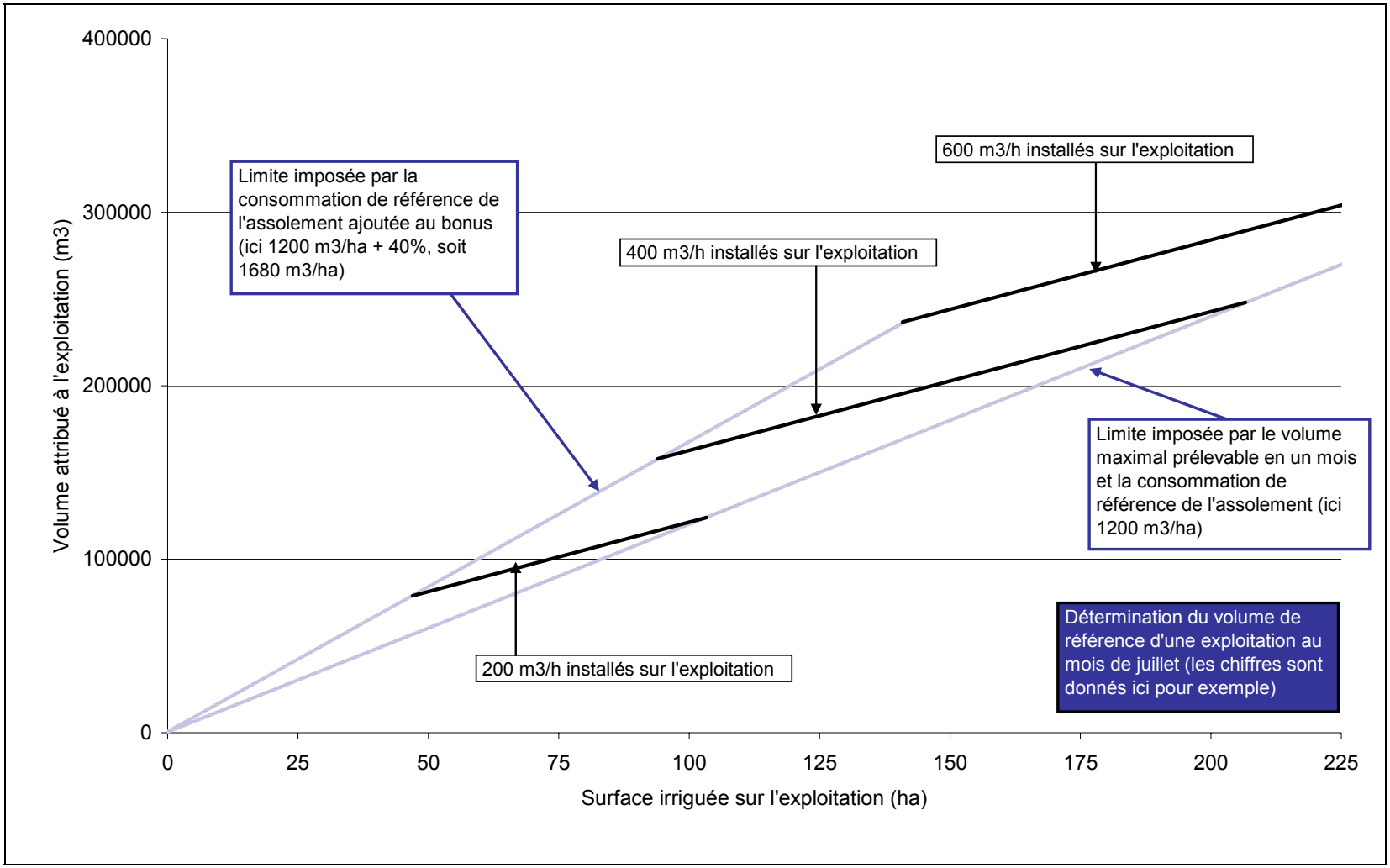


Figure 21 : abaque proposé pour l'attribution d'un volume d'eau par exploitation. Présentation générale.

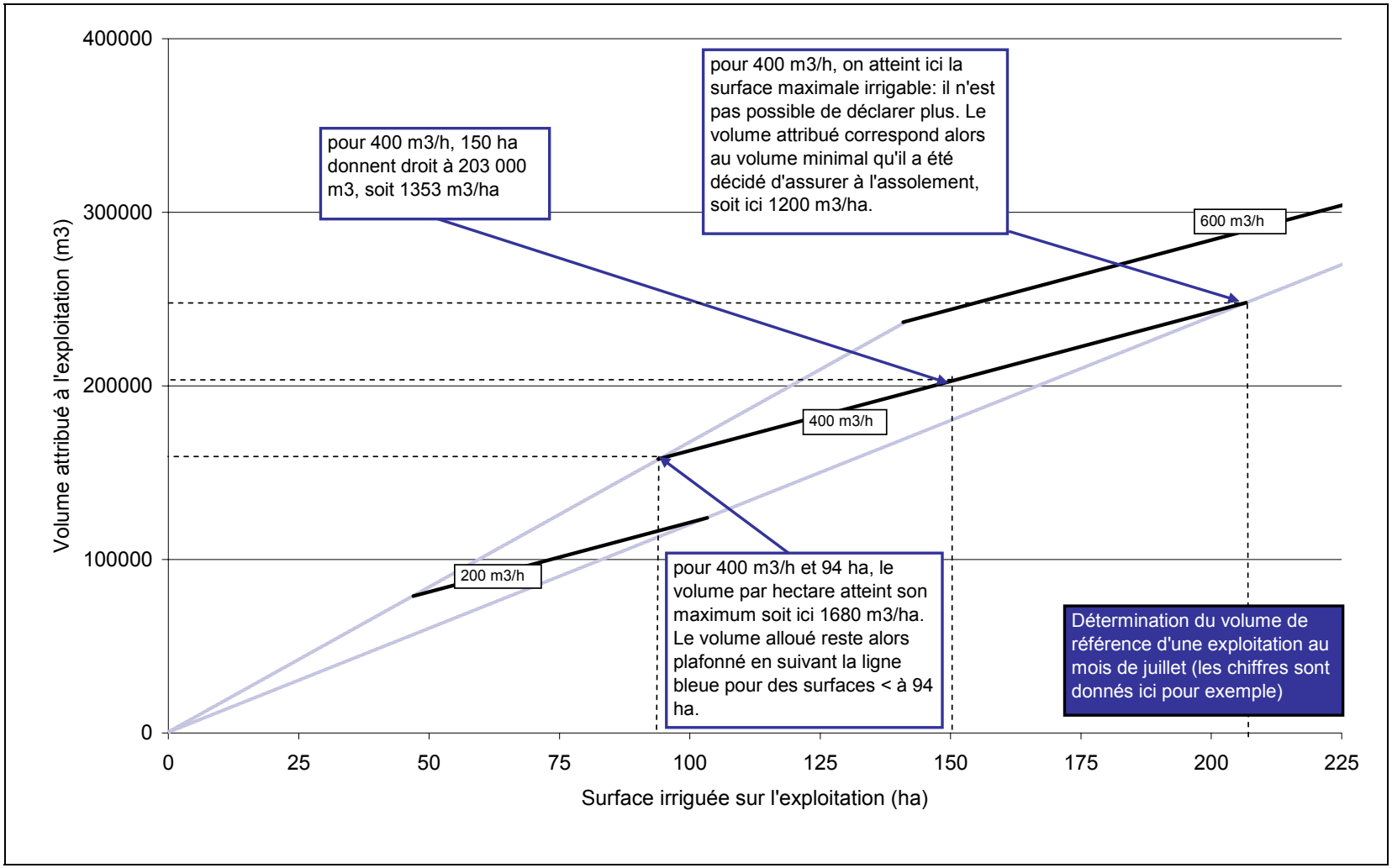


Figure 22 : abaque proposé pour l'attribution d'un volume d'eau par exploitation. Principe d'utilisation.

Ce troisième système présente plusieurs avantages par rapport aux deux systèmes précédents :

- Il permet de **mettre en cohérence deux informations caractérisant l'exploitation : son débit d'équipement et son assolement irrigué**. Ainsi, la connaissance du débit d'équipement permet de rester dans des limites raisonnables de volume alloué par exploitation (lignes bleues). Il pose donc à la fois une limite à la surface irriguée déclarée (pour un débit d'équipement donné) et au débit d'équipement pris en compte (pour une surface irriguée donnée).

- Lorsque l'on « descend » le long d'une courbe noire sur la graphique (par exemple celle de 400 m^3/h), le volume alloué par hectare augmente, dans la limite du « bonus » que l'on a fixé (ici 40%). Ainsi, **les efforts faits pour réduire sa surface irriguée sont « récompensés »** par une sécurité et une souplesse plus grande pour l'irrigation de la surface restante.

- **Pour « gagner » des mètres cubes d'eau par hectare, il reste plus avantageux de diminuer sa surface irriguée que d'augmenter son débit d'équipement**.

6.5 Conclusion sur la partie 6

Le système de gestion volumétrique proposé s'appuie sur :

- La définition d'un **volume d'eau de référence limité par sous-bassin**, pour les sous-bassins du groupe 1 (sous-bassins rappelés en section 6.2.3)
- La définition d'un **volume individuel par exploitation** sur l'ensemble du territoire du SAGE à l'aide d'une **clé de répartition** tenant compte des surfaces et cultures irriguées, du débit des pompes sur l'exploitation et de la nature des sols. Cette clé, permet à la fois une répartition cohérente des volumes et la récompense des efforts réalisés par ceux qui réduisent leur surface irriguée.
- L'utilisation de **2 indicateurs piézométriques** pour ajuster à la hausse ou à la baisse les volumes individuels alloués sur les sous-bassins du groupe 1 en fonction de l'état de la ressource
- L'utilisation de **seuils de d'alerte et de crise en rivière** pour ajuster à la baisse le cas échéant les volumes individuels.

Afin de mettre en place et conduire ce processus de gestion volumétrique chaque année, il paraît essentiel qu'une **structure porteuse** soit définie.

Par ailleurs, un tel système, contraignant par rapport à la situation actuelle, pourra difficilement être mis en place du jour au lendemain. Il serait intéressant de prévoir une **période de transition** afin de passer progressivement du système actuel au système de gestion volumétrique. En effet, la réduction des volumes exploitables devra se traduire très concrètement au sein des exploitations soit par une modification progressive des assolements, soit par une amélioration de l'efficience de l'irrigation (par un travail sur le réglage du matériel ou le pilotage de l'irrigation par exemple). Si l'on a pu observer en général que l'amélioration du pilotage de l'irrigation pouvait conduire à des gains de 5% des volumes consommés, en revanche les actions sur le matériel d'irrigation lui-même ont pu apporter jusqu'à 30% d'économie d'eau[19].

Ces mutations et leurs **nécessaires actions d'accompagnement** prendront du temps, ce qui justifie une conversion progressive vers un système de gestion volumétrique plus contraignant. On peut par exemple envisager une diminution progressive du volume total alloué sur 5 années.

[19] Source : Cemagref

7 Les outils de modélisation utilisés sur d'autres bassins français

7.1 Objectifs

La Commission Locale de l'Eau du SAGE a exprimé le souhait de disposer d'un outil de modélisation qui soit à la fois un modèle exploratoire (analyse de sensibilité à différents paramètres) et prospectif (comparaison qualitative de plusieurs scénarios de projection). Ainsi construit, ce modèle constituerait un outil d'aide à la décision faisant partie intégrante du système de gestion volumétrique. La mise en place de cet outil fait l'objet de la tranche conditionnelle de la présente étude.

Afin de guider la CLE dans ce choix, il a été demandé d'identifier les structures en France utilisant des outils de modélisation comme outils d'aide à la décision pour gérer l'eau d'irrigation (et pour les besoins d'autres usages) et d'effectuer une comparaison.

La recherche d'outils de modélisation et d'aide à la décision utilisés pour gérer les débits à l'étiage a été réalisée en identifiant les structures utilisant ce type d'outils. Pour cela, nous nous sommes notamment rapprochés des différentes Agences de l'Eau (Loire-Bretagne, Adour-Garonne, Artois-Picardie, Seine-Normandie, Rhin-Meuse, Rhone-Méditerranée-Corse) ainsi que des organismes pouvant être concernés par ce type de problématique (DIREN, syndicats mixtes).

La synthèse de cette recherche est présentée en Annexe 14.

7.2 Modèle envisageable sur le bassin du SAGE Yèvre-Auron

La plupart des modèles examinés cherchent à représenter le comportement hydrogéologique de la zone d'étude. Or la problématique du bassin Yèvre-Auron est un peu différente d'une problématique purement hydrogéologique :

- l'objectif est d'établir une gestion des prélèvements pour atteindre des débits objectifs en rivière ;
- la circulation des eaux est très rapide, sans stock de nappe important.

La modélisation hydrogéologique réalisée dans le cadre de la présente étude montre bien les limites de l'approche centrée sur l'hydrogéologie du système.

On a vu en outre que les modèles hydrogéologiques maillés existants ne permettaient de répondre que partiellement aux attentes de l'aide à la décision, en raison de :

- la complexité du calage et de l'exploitation du modèle ;
- l'absence de structure porteuse après construction du modèle

Le modèle à rechercher pour le bassin Yèvre-Auron doit donc, d'une part intégrer une **fonction pluie-débit** performante et d'autre part pouvoir être suffisamment « simple » pour être exploité ou modifié par une structure en aval de l'étude.

Deux types d'outils peuvent correspondre à cette approche :

- Un outil utilisant un modèle pluie-débit standard avec fonction réservoir : ce type de modèle représente la nappe comme une bassine qui fuit vers la rivière. Il ne reproduit pas la physique réelle et plus complexe des phénomènes.
- Un modèle conceptuel, de type MIKE SHE, permettant de reproduire la physique des phénomènes et d'étudier la dynamique de la nappe et de la rivière en temps réel.

Les limites de l'approche proposée dans le cadre de cette étude sont triples :

- Le travail réalisé sur des données historiques ne permet pas de tester l'influence de scénarios climatiques différents : quelle influence par exemple d'un éventuel changement climatique sur les étiages ?
- L'influence dans le temps des prélèvements éloignés reste mal cernée : quelle influence par exemple d'un développement des irrigations de printemps sur les étiages ?
- Enfin, quel serait l'influence d'une modification de la morphologie des cours d'eau (largeur du lit, étanchéité du fond et des berges…) sur l'écoulement de la nappe, les débits d'étiage et le volume d'eau exploitable ?

Une approche par modélisation, et notamment par une modélisation permettant de reproduire la physique des phénomènes, permettrait de dépasser ces limites.

Bibliographie

Géologie

Cartes géologiques au 1/50 000ème et notices.

Hydrogéologie

BRGM, 1998 : état des connaissances dans la NIE de l'Yèvre et de l'Auron·

BRGM, 2002 : étude des nappes du Jurassique dans les départements du Cher et de l'Indre. Phase 1 : acquisition de données. Première partie : données hydrogéologiques·

IWACO Lille, 2001 : étude hydrogéologique et réalisation de cartes piézométriques des bassins de l'Yèvre et de l'Auron.·

BRGM, 2002 : diagnostic du réseau piézométrique de la région Centre·

Les données enregistrées sur les piézomètres de la zone d'étude, disponibles sur le site http://piezocentre.brgm.fr

Etudes générales de rivières

BCEOM, 1983 : aménagement de la vallée de l'Yèvre, étude diagnostique.

DDAF 18, 1997 : opération d'évaluation de l'efficacité d'un soutien d'étiage sur la rivière Auron

CACG, 1996 : étude de la vallée de l'Auron·

GREBE eau, sol, environnement, 1999 : étude des débits minimum biologiques sur la rivière Auron·

GREBE eau, sol, environnement, 2003 : étude des débits minimum biologiques sur la rivière Yèvre·

HYDRO CONCEPT, 2004 : étude globale des rivières de l'Ouatier, du Colin et du Langis.

SOMIVAL, 2000 : étude de faisabilité comparée de différentes solutions de réalimentation de la rivière Auron· SOMIVAL, 2001 : réalimentation de l'Auron, étude complémentaire.

ANTEA, 2004 : étude environnementale du champ captant du Porche·

CSP : cartes des assecs

- **Canal de Berry**

SAFEGE, 2001 : étude hydraulique et hydrogéologique de la réhabilitation du Canal de Berry dans sa traversée des départements du Cher et de l'Allier (phases 1, 2 et 3)

- **Hydrologie**

Données de la banque Hydro sur les stations suivantes : l'Yèvre à Foëcy, l'Yèvre à Saint Doulchard, L'Yèvre à Bourges, l'Yèvre à Savigny en Septaine, l'Airain à Crosses, l'Auron à Bourges (l'Ormediot), l'Auron au Pondy, le Cher à Foëcy, la Marmande à Charenton du Cher, La Marmande à Saint Pierre les Etieux, la Petite à Ménétrol sur Sauldre)·

Jaugeages DDE sur un bras de l'Yèvre dans Bourges

Note de la DIREN Centre sur l'estimation des débits de référence de l'Yèvre (janvier 2005)

- **Météorologie**

Données de la banque Pluvio sur les stations suivantes : Vierzon, Bourges, Levet, Dun sur Auron, Le Pondy, Ourouer-les-Bourdelins, Baugy, les Aix d'Angillon, Saint Martin d'Auxigny, Bue, Jalognes, Sévry, Sancoins, Chateauneuf-sur-Cher)

- **Topographie**

BD Alti de l'IGN

- **Pédologie**

Cartes pédologiques au 1/50 000 (version papier)· CA de l'Indre et du Cher, 1992 : synthèse « Les terres de Champagne Berrichone, typologie des sols agricoles et forestiers »

- **Prélèvements en eau**

Données Agence de l'Eau 1996-2003

Fichier des autorisations DDAF 18

- **Agriculture, irrigation**

Données Agreste du RGA 2000, 1988, 1979 et données synthétiques (DDAF, service statistiques)·

Calcul théorique des besoins en eau des cultures (CA 18)· FDGEDA du Cher : Compte-rendus de l'action « gestion de l'eau », conseil en irrigation (années 1996 à 2000)· CA 18, Epicentre, 2002 : IRRINOV « Maïs », test de la méthode menée en 2002 dans le département du Cher·

Méthode IRRINOV, guide de l'utilisateur, 2003.

- **Information géographique**

BD Carthage (cours d'eau et bassins versants, données Agence de l'Eau), BD RHF (hydrogéologie, données Agence de l'Eau), BD Ortho (IGN), Scan 100 (IGN), Scan 25 (IGN), BD Carto (IGN), Périmètre du SAGE (CG18)

- **Système de gestion Colin Ouatier Langis**

4 fiches de présentation et de communication·(CA 18)

Suivi des volumes prélevés 2001-2004 (sur un échantillon d'agriculteurs)·(CA 18)

Limites du périmètre d'application (CA 18)

Annexes

Annexe 1 : jaugeages de la DDE sur le Moulon à Bourges

Annexe 2 : caractéristiques des étiages sur le bassin Yèvre Auron

Annexe 3 : hydrogéologie du bassin Yèvre Auron - compléments

Annexe 4 : traitement des données sur les prélèvements

Annexe 5 : évolution annuelle des prélèvements agricoles

Annexe 6 : fiche descriptive des prélèvements par sous-bassin versant

Annexe 7 : le canal de Berry : campagne de jaugeage et solutions de réalimentation

Annexe 8 : modélisation simplifiée de l'aquifère

Annexe 9 : méthode de calcul de l'outil d'aide à la décision

Annexe 10 : mode d'emploi de l'outil d'aide à la décision

Annexe 11 : détermination d'indicateurs piézométriques

Annexe 12 : règles d'attribution des volumes de référence individuels selon les départements pour la nappe de Beauce, en 1999

Annexe 13 : règle d'attribution individuelle d'un volume d'eau : formulation mathématique

Annexe 14 : outils de modélisation et d'aide à la décision utilisés sur d'autres bassins français