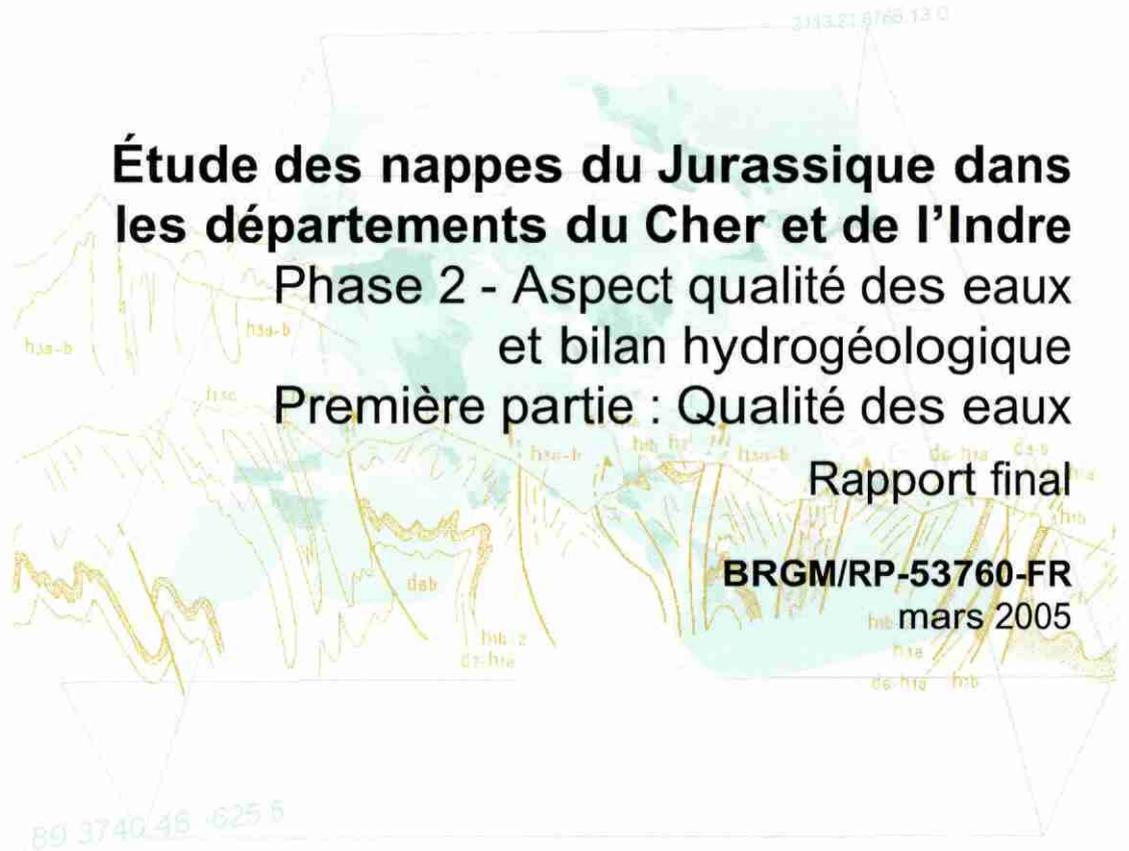


Document public



**Étude des nappes du Jurassique dans
les départements du Cher et de l'Indre**
Phase 2 - Aspect qualité des eaux
et bilan hydrogéologique
Première partie : Qualité des eaux
Rapport final

BRGM/RP-53760-FR
mars 2005



Document public

Étude des nappes du Jurassique dans les départements du Cher et de l'Indre

Phase 2 - Aspect qualité des eaux et bilan hydrogéologique

Première partie : Qualité des eaux

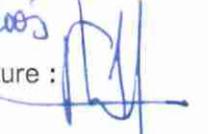
Rapport final

BRGM/RP-53760-FR
mars 2005

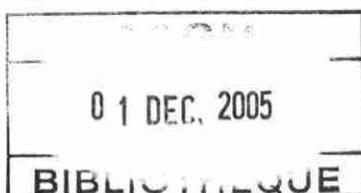
Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2003-EAU-C43

Ph. Maget
Avec la collaboration de
E. le Boucher et E. Gaget

Vérificateur :
Original signé par :
Nom : *F. Vally Jhon/Caro*
Date : *26 oct 2005*
Signature : 

Approbateur :
Original signé par :
Nom : J.P. LEPRETRE
Date : *19 oct 2005*
Signature : 

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : Cher, Indre, Hydrogéologie, Hydrochimie, Jurassique, Qualité des eaux.

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

Maget Ph., avec la collaboration de **Le Boucher E.** et **Gaget E.** (2005) - Étude des nappes du Jurassique dans les départements du Cher et de l'Indre. Phase 2 : Aspect qualité des eaux et bilan hydrogéologique. Première partie : Qualité des eaux. BRGM/RP-53760-FR, 63 p., 15 fig., 5 tabl., 9 ann. (volume séparé), 21 pl. h.t.

Synthèse

La Champagne berrichonne est caractérisée par un paysage calcaire qui correspond aux affleurements de la période géologique du Jurassique. Dans cette région, les ressources en eau sont limitées tant en quantité qu'en qualité. En quantité, la forte augmentation des prélèvements a entraîné des mesures de restriction lors de périodes de sécheresse. En qualité, l'eau contaminée progressivement par les nitrates et produits phytosanitaires a entraîné l'abandon de plusieurs captages d'eau potable.

Dans ce contexte, le BRGM a proposé un programme d'étude pour une synthèse dans le cadre d'une démarche globale sur les aquifères du Jurassique, afin de rassembler les données existantes et identifier les lacunes. Les conclusions de cette étude devront apporter les éléments de réponse à la demande, en 2001, de Madame la Préfète de l'Indre d'un classement de la nappe du Jurassique en zone de répartition des eaux dans son département.

Cette étude, co-financée par le ministère de l'Écologie et du Développement Durable – DIREN Centre, est programmée en deux phases, dans le cadre des activités de Service public du BRGM :

- phase 1 : acquisition des données hydrogéologiques en 2002 (rapport BRGM/RP-51887-FR) où ont été définis quatre réservoirs aquifères dans les calcaires : le Tithonien, l'Oxfordien, le Dogger et le Lias ;
- phase 2 : comprenant deux parties (opération SP n° 03 EAU C43) : la qualité des eaux souterraines dans les réservoirs du Jurassique -qui fait l'objet de ce présent rapport- et le bilan volumique par bassin présenté dans un rapport distinct.

Les résultats sont les suivants :

- **Nappe du Tithonien** : l'eau présente bien les caractéristiques d'un réservoir calcaire, dans le domaine connu du Cher. La faible capacité du réservoir a pour conséquence une saturation rapide en nitrates (lesquels sont pris comme indicateur de pollution) ; dans les conditions actuelles, il n'y a pas de tendance d'évolution, mais les variations saisonnières sont rapides ;
- **Nappe de l'Oxfordien** : le réservoir calcaire est de faible épaisseur et est à nu sur de très grandes surfaces : la nappe est donc très vulnérable. La majeure partie des captages concernant ce réservoir produit une eau dont la teneur en nitrates dépasse la limite de potabilité. Les variations sont en général très fortes et très rapides, sans tendance d'évolution. Les captages d'eau potable sont donc difficiles à protéger et bon nombre d'entre eux sont condamnés à être abandonnés (dans les conditions actuelles) au profit d'une ressource plus stable que l'on ne trouve que très loin des grands centres de consommation ;
- **Nappe du Dogger** : l'eau présente des caractéristiques relativement homogènes de milieu calcaire. Cette formation est en grande partie recouverte de terrains argileux ou détritiques qui, d'une part jouent un rôle de filtre, d'autre part se prêtent moins à

l'agriculture, d'où une eau relativement peu contaminée. Les calcaires du Dogger sont les seuls à être productifs en profondeur ; l'eau est alors exempte de pollution, mais elle devient rapidement minéralisée, du moins dans le Cher, jusqu'à être impropre à la consommation au-delà de 300 m de profondeur ;

- **Nappe du Lias** : elle n'est pratiquement pas connue, un seul forage donnant des informations sur la qualité de l'eau... avec un excès de fluor (Maisonnais, 18). La ressource mérite d'être explorée dans le Cher où le réservoir est le plus épais.

Un examen approfondi de plusieurs captages montre que les facteurs prépondérants sur la qualité de l'eau sont :

- l'environnement proche du forage, directement en amont, et non l'occupation des sols sur une grande échelle ;
- la conception de l'ouvrage, d'où l'importance du choix d'une entreprise et du Maître d'œuvre ; la fourniture d'un rapport de fin de travaux détaillé est un gage de sécurité.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Rappel de la phase 1	13
3. Données de base	17
3.1. BIBLIOGRAPHIE	17
3.2. FICHIERS DISPONIBLES	17
3.2.1. Base ACCESS	17
3.2.2. Fichiers des DDASS.....	18
3.2.3. Fichier de la base ADES	19
4. Constitution du dossier « qualité des eaux »	21
5. Caractérisation des aquifères	23
5.1. INTRODUCTION	23
5.2. TITHONIEN (cf. pl. 1 à 6 et ann. 1).....	23
5.3. OXFORDIEN (cf. pl. 7 à 11 et ann. 2).....	25
5.3.1. Conductivité (cf. carte en pl. 7).....	25
5.3.2. Dureté (cf. carte en pl. 8).....	27
5.3.3. Potentiel hydrogène (pH)	27
5.3.4. Calcium	27
5.3.5. Magnésium.....	27
5.3.6. Chlorures.....	28
5.3.7. Sulfates	28
5.3.8. Nitrates.....	28
5.3.9. Fer (cf. carte en pl. 9).....	28
5.3.10. Manganèse (cf. carte en pl. 10).....	29
5.3.11. Oxygène dissout	29
5.3.12. Conclusion	29
5.4. DOGGER (cf. pl. 13 à 20 et ann. 3).....	30
5.4.1. Conductivité	30
5.4.2. Dureté (cf. pl. 14)	30
5.4.3. Potentiel hydrogène (pH)	31
5.4.4. Calcium	31

5.4.5. Magnésium (cf. pl. 15)	31
5.4.6. Chlorures (cf. pl. 16)	31
5.4.7. Sulfates	32
5.4.8. Nitrates	32
5.4.9. Fer (cf. pl. 18)	32
5.4.10. Manganèse (cf. pl. 19)	33
5.4.11. Oxygène dissout	33
5.4.12. Conclusion	33
5.5. LIAS	34
6. Étude de la pollution	35
6.1. MÉTHODOLOGIE	35
6.1.1. Nitrates	35
6.1.2. Produits phytosanitaires	37
6.2. TITHONIEN	38
6.2.1. État actuel (cf. carte en pl. 6 et ann. 1)	38
6.2.2. Relations avec l'occupation des sols	38
6.2.3. Évolution de la teneur en nitrates (cf. ann. 6.1 et 6.2)	39
6.2.4. Relations avec la pluviométrie (cf. ann. 6.2 et fig. 5)	39
6.2.5. Pesticides (cf. ann. 6.3.)	40
6.2.6. Conclusion	40
6.3. OXFORDIEN	42
6.3.1. État actuel (cf. tableau en ann. 2.1 et carte en pl. 11)	42
6.3.2. Relations avec l'occupation des sols (cf. ann. 9.1 et 9.2)	42
6.3.3. Évolution de la teneur en nitrates (cf. tableau en ann. 7.1 et 7.2, ainsi que la carte en pl. 12)	44
6.3.4. Relations avec la pluviométrie (cf. l'ensemble des graphiques, ann. 7.2)	44
6.3.5. Relations avec la piézométrie	46
6.3.6. Pesticides (cf. tableau en ann. 7.2 et carte en pl. 11)	48
6.3.7. Conclusion	48
6.4. DOGGER	49
6.4.1. Etat actuel (cf. tableau en ann. 8.1 et carte en pl. 20)	49
6.4.2. Relations avec l'occupation des sols (cf. ann. 9.1 et 9.2.)	50
6.4.3. Évolution de la teneur en nitrates (cf. tableau en ann. 8.2 et pl. 21)	51
6.4.4. Relations avec la pluviométrie (cf. ann. 8.3)	53
6.4.5. Relations avec la piézométrie (cf. ann. 8.4)	54
6.4.6. Pesticides (cf. ann. 8.5)	54

6.4.7. Conclusion	56
6.5. LIAS	56
6.6. ANALYSE STATISTIQUE GLOBALE DES TENEURS EN NITRATES (TITHONIEN, OXFORDIEN, DOGGER, LIAS).....	56
6.6.1. Paramètres statistiques de base	56
6.6.2. Représentation graphique	57
7. Conclusion	59
7.1. TITHONIEN	59
7.2. OXFORDIEN.....	59
7.3. DOGGER.....	60
7.4. LIAS	60
7.5. RELATIONS AVEC L'OCCUPATION DES SOLS	61
7.5.1. Relations générales.....	61
7.5.2. Critique de la méthode	61
7.5.3. Résultats	61
8. Bibliographie	63
8.1. RAPPORTS	63
8.2. NOTICES DE CARTES GEOLOGIQUES.....	63

Liste des figures

Figure 1 - Extension des formations calcaires du Jurassique dans les départements du Cher et de l'Indre.....	14
Figure 2 - Répartition des réservoirs calcaires du Jurassique.	15
Figure 3 - Méthodologie de la constitution du fichier de base.....	22
Figure 4 - Tithonien, relations entre teneurs en nitrates et surfaces agricoles.	39
Figure 5 - Captages de Graçay et de Quantilly, évolution de la teneur en nitrates.	41
Figure 6 - Oxfordien, relations entre teneurs en nitrates et surfaces agricoles.	43
Figure 7 - Captage de la base aérienne d'Avord (05206X0056). Évolution de la teneur en nitrates.	43
Figure 8 - Variations des teneurs en nitrates comparées à la pluviométrie.	45
Figure 9 - Variations des teneurs en nitrates comparées à la pluviométrie. Captage de Saint-Florent-sur-Cher (n° BSS : 05195X0052).....	46
Figure 10 - Variations de la teneur en nitrates comparées à la piézométrie dans le Cher.	47
Figure 11 - Dogger, relations entre teneurs en nitrates et surfaces agricoles.	50
Figure 12 - Variations des teneurs en nitrates comparées à la pluviométrie.	52
Figure 13 - Captage d'Ardentes (05711X0008). Évolution de la teneur en nitrates.	53
Figure 14 - Variations de la teneur en nitrates comparées à la piézométrie.....	55
Figure 15 - Représentation sous forme de « Boîtes à moustaches » de l'analyse statistique descriptive des teneurs en nitrates dans le Dogger, l'Oxfordien et le Lias.	58

Liste des tableaux

Tableau 1 - Tithonien, caractéristiques physico-chimiques, tableau de synthèse.....	25
Tableau 2 - Caractéristiques de captages groupés : Levroux, Vatan et Bourges (Le Porche).....	26
Tableau 3 - Oxfordien - Caractéristiques physico-chimiques, tableau de synthèse.	29
Tableau 4 - Dogger - Caractéristiques physico-chimiques, tableau de synthèse.....	34
Tableau 5 - Paramètres statistiques (en mg/l) des teneurs en nitrates dans le Dogger, l'Oxfordien, le Lias et le Tithonien.....	56

Liste des annexes (sur CD ROM, accès réservé)

- Ann. 1 - Nappe du Tithonien : paramètres physico-chimiques
- Ann. 2 - Nappe de l'Oxfordien
 - Ann. 2.1 - Paramètres physico-chimiques
 - Ann. 2.2 - Conductivité : analyse statistique ; ensemble de la formation
 - Ann. 2.3 - Conductivité : analyse statistique
- Ann. 3 - Nappe du Dogger
 - Ann. 3.1 - Paramètres physico-chimiques
 - Ann. 3.2 - Conductivité : analyse statistique
- Ann. 4 - Nappe du Lias : paramètres physico-chimiques
- Ann. 5 - Paramètres de pollution
 - Ann. 5.1 - Composés organiques et phytosanitaires
 - Ann. 5.2 - Liste des pesticides
- Ann. 6 - Tithonien : évolution de la teneur en nitrates
 - Ann. 6.1 - Tableau
 - Ann. 6.2 - Variations de la teneur en nitrates comparées à la pluviométrie
 - Ann. 6.3 - Produits phytosanitaires : teneurs supérieures au seuil de potabilité
- Ann. 7 - Oxfordien : Paramètres de pollution
 - Ann. 7.1 - Évolution de la teneur en nitrates (tableau)
 - Ann. 7.2 - Variation de la teneur en nitrates comparées à la pluviométrie
 - Ann. 7.3 - Variation de la teneur en nitrates comparées à la piézométrie
 - Ann. 7.4 - Pesticides : teneurs maximales
- Ann. 8 - Dogger : Paramètres de pollution
 - Ann. 8.1 - Nitrates : dernières valeurs maximales
 - Ann. 8.2 - Évolution de la teneur en nitrates (tableau)
 - Ann. 8.3 - Variations de la teneur en nitrates comparées à la pluviométrie
 - Ann. 8.4 - Variations de la teneur en nitrates comparées à la piézométrie
 - Ann. 8.5 - Teneurs en pesticides supérieures à 0,1 µg/l
- Ann. 9 - Teneurs en nitrates et surfaces agricoles
 - Ann. 9.1 - (tableau)
 - Ann. 9.2 - Corrélation teneur en nitrates/rapport SAU/surface commune

Liste des planches hors-texte

- Planche 1 - Tithonien : Conductivité
- Planche 2 - Tithonien : Dureté
- Planche 3 - Tithonien : Magnésium
- Planche 4 - Tithonien : Fer
- Planche 5 - Tithonien : Manganèse
- Planche 6 - Tithonien : Nitrates
- Planche 7 - Oxfordien : Conductivité
- Planche 8 - Oxfordien : Dureté
- Planche 9 - Oxfordien : Fer
- Planche 10 - Oxfordien : Manganèse
- Planche 11 - Oxfordien : Nitrates et pesticides
- Planche 12 - Oxfordien : Évolution de la teneur en nitrates
- Planche 13 - Dogger : Conductivité
- Planche 14 - Dogger : Dureté
- Planche 15 - Dogger : Magnésium
- Planche 16 - Dogger : Chlorures
- Planche 17 - Dogger : Salinité en nappe captive profonde
- Planche 18 - Dogger : Fer
- Planche 19 - Dogger : Manganèse
- Planche 20 - Dogger : Nitrates et pesticides
- Planche 21 - Dogger : Évolution de la teneur en nitrates

1. Introduction

Le trait géographique majeur -en superficie- des départements du Cher et de l'Indre est la Champagne berrichonne. Cette région naturelle est constituée par des terrains presque exclusivement calcaires datant du Jurassique. Cela se manifeste par un paysage de grandes cultures céréalières qui possède sa problématique propre pour ce qui concerne la gestion de l'eau, tant sur le plan quantité que qualité.

En quantité, car les besoins pour l'agriculture ont entraîné depuis près de 30 ans une forte augmentation des prélèvements en eaux superficielle et souterraine, dans une région où ces ressources sont très sensibles aux périodes de sécheresse : assèchement de nombreux cours d'eau, baisse prononcée des nappes d'eau souterraine. En outre, la productivité des forages est souvent aléatoire, ce qui augmente la difficulté de gestion des exploitations. Ces problèmes quantitatifs ont entraîné la mise en place de mesures visant à limiter les prélèvements ; ces mesures se traduisent par le classement de certaines zones en « N.I.E. » (nappes intensément exploitées), telles le bassin de l'Yèvre et de l'Auron dans le SDAGE, le classement en N.AEP (Nappe réservée en priorité à l'Alimentation en Eau Potable) du Dogger captif dans le SDAGE également et le classement en Z.R.E. (Zones de Répartition des Eaux) du bassin du Cher en amont de Vierzon, par le décret de 1994.

En qualité, car les captages d'eau potable se révèlent très vulnérables ; la qualité de l'eau se dégrade de plus en plus et de nombreux captages doivent être abandonnés. Les solutions de substitution sont alors soit le captage de la nappe alluviale de la Loire - impliquant de grandes longueurs de conduites-, soit le captage de nappes profondes très mal connues, comme celle du Dogger dont l'eau se révèle salée à une certaine profondeur. La quasi-totalité des communes situées dans le périmètre étudié est classée en « zone vulnérable » au titre de la directive « nitrates ».

Dans ce contexte, le BRGM a proposé un programme d'étude, dans le cadre d'une démarche globale sur les aquifères du Jurassique, avec délimitation des bassins versants, dans l'éventualité d'un classement en « zone de répartition ». Cette étude, co-financée par le ministère de l'Écologie et du Développement Durable – DIREN Centre, est programmée en deux phases réparties sur 2002 et 2004 :

- phase 1 : État des connaissances et étude hydrogéologique des réservoirs du Jurassique, réalisée en 2002 et présentée dans le rapport BRGM/RP-51887-FR ;
- phase 2 : Qualité des eaux et bilan hydraulique des bassins, qui font l'objet de la présente étude en 2004, et présentés en deux rapports distincts.

Pour le suivi et la bonne réalisation de ce programme, un groupe de pilotage a été constitué, formé par la DIREN, les MISE du Cher et de l'Indre et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

Nous remercions très sincèrement les DDASS des deux départements pour l'important travail de requête demandé, sans lequel la présente étude n'aurait pu être réalisée.

2. Rappel de la phase 1

L'étude réalisée en 2002 (rapport BRGM/RP-51 887-FR) a permis de distinguer quatre ensembles aquifères dans les formations du Jurassique, toutes correspondant à des calcaires. La synthèse est présentée sur les figures 1 et 2. Ce sont, en partant des formations les plus récentes qui apparaissent au nord.

• Le Tithonien

Le **Tithonien** (ou Portlandien ici) est un banc compact, au sommet du Jurassique, qui affleure seulement au nord-est, dans le Cher. Il ne contient de l'eau qu'exceptionnellement à la faveur d'accidents structuraux et dans la partie sommitale altérée sous les formations sableuses du Crétacé inférieur du Pays-Fort. Il pourrait se comporter comme l'exutoire du réservoir supérieur du Crétacé plutôt que comme un réservoir. La présente étude devrait lever cette interrogation.

• L'Oxfordien supérieur et base du Kimméridgien

Cette formation complexe du Jurassique supérieur affleure très largement dans les deux départements (cf. coupe sud-nord en annexe 4 du rapport de 2002). Elle est à cheval sur les deux étages géologiques : base du Kimméridgien et Oxfordien supérieur. Dans l'ancienne terminologie que l'on trouve dans les rapports d'avant 1980, cette formation est classée dans le « Lusitanien » qui comprend -de haut en bas- le Séquanien, le Rauracien et l'Argovien. On parlera plus simplement du système de « l'Oxfordien supérieur » dans la suite de ce rapport.

Cette formation comprend une succession de bancs de calcaire compact alternant le plus souvent avec des lits d'argile, de marne. Certains horizons présentent un faciès récifal ou de barrière (calcaire oolithique ou graveleux), le calcaire étant ainsi poreux. Les ressources sont localisées essentiellement dans la partie supérieure (Calcaire de Bourges, Calcaire de Von, Calcaire du Buzançais...) lorsque le calcaire franc est fracturé ou -très localement- poreux (Calcaire de Morthomiers). Les capacités se réduisent très fortement vers la base (Calcaires lités inférieurs) où le calcaire devient argileux. De plus, seule la frange supérieure altérée des calcaires peut fournir de l'eau. Il en résulte que cet aquifère est très peu capacitif et est d'une grande sensibilité aux épisodes de sécheresse, comme le montrent les enregistrements piézométriques.

En domaine captif, les calcaires sont compacts ; on constate d'ailleurs l'absence de captages d'eau dans cet aquifère sous couverture.

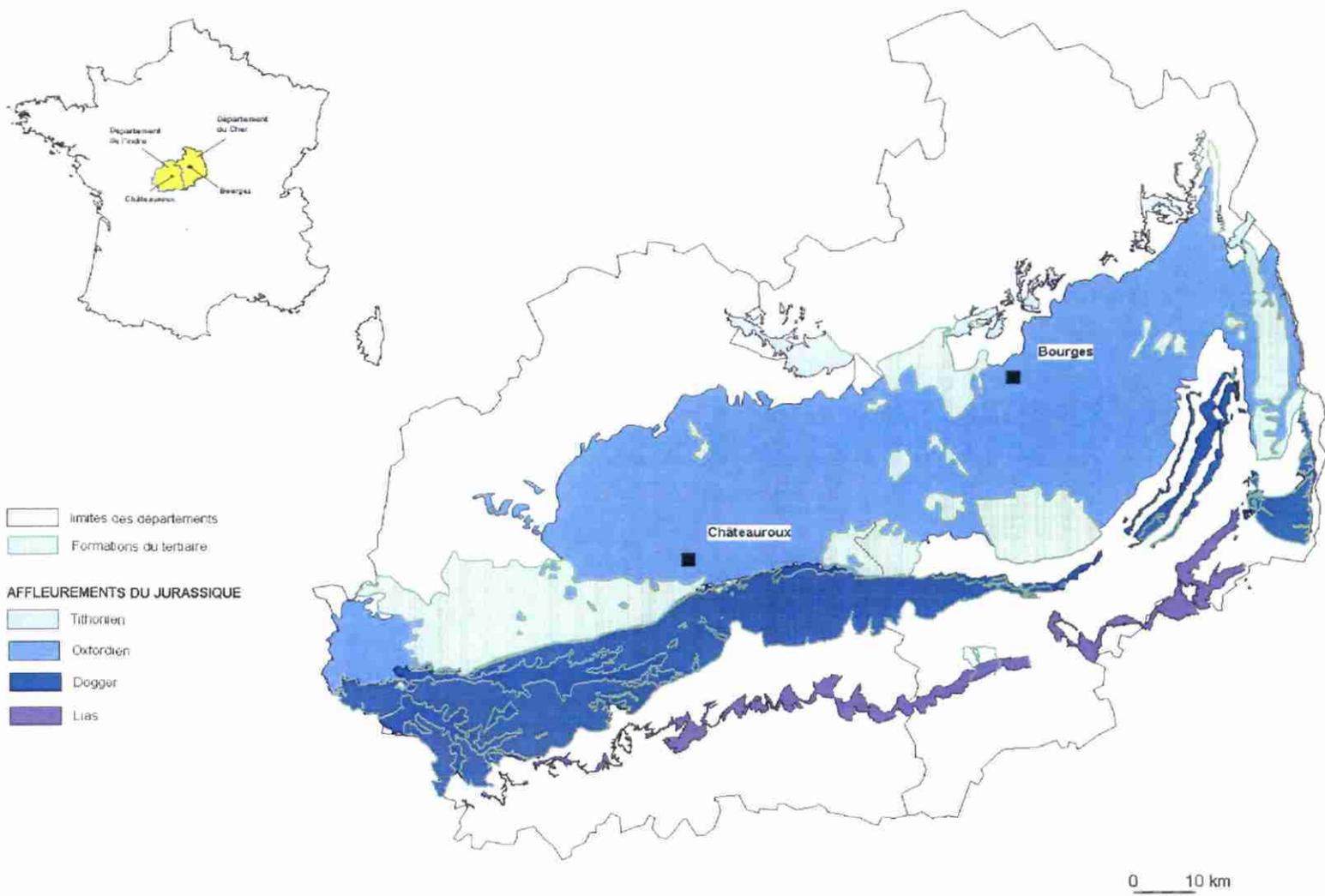


Figure 1 - Extension des formations calcaires du Jurassique dans les départements du Cher et de l'Indre.

Etage géologique					Calcaire	
					compact	poreux
Jurassique supérieur	Malm	Tithonien	Tithonien supérieur			
			Tithonien moyen			
			Tithonien inférieur			
		Kimméridgien	Kimméridgien supérieur			
			Kimméridgien inférieur	Séquanien		
		Oxfordien	Oxfordien supérieur	Rauracien		
	Oxfordien moyen	Argovien				
	Oxfordien inférieur					
Jurassique moyen	Dogger	Callovien	Callovien supérieur			
			Callovien moyen			
			Callovien inférieur			
		Bathonien	Bathonien supérieur			
			Bathonien moyen			
			Bathonien inférieur			
		Bajocien	Bajocien supérieur			
	Bajocien inférieur					
Aalénien						
Jurassique inférieur	Lias	Toarcien				
		Pliensbachien	Domérien			
			Carixien			
		Sinnémurien				
		Hettangien				

Figure 2 - Répartition des réservoirs calcaires du Jurassique.

• Le Jurassique moyen (ou Dogger)

Cet étage est constitué d'une succession de bancs calcaires et de bancs marneux. On distingue deux à trois barres calcaires qui affleurent en une bande étroite en arc de cercle au sud du département du Cher et qui s'étale vers l'ouest, mais en étant assez largement recouverte par les dépôts détritiques du Tertiaire (formation de Lignièrès, formation de Brenne).

Compacte, cette formation ne renferme de l'eau que dans les fractures et dans le karst particulièrement développé à l'ouest. À l'ouest de la rivière du Cher, les calcaires supérieurs renferment un banc oolithique poreux où la ressource est continue et peut être exploitée en profondeur. À l'est de ce cours d'eau, le calcaire est argileux et les recherches en domaine profond se sont soldées par des échecs.

• Le Jurassique inférieur (ou Lias)

Le Lias comporte à sa partie inférieure un mince banc de calcaire massif, parfois dolomitique, rarement poreux, daté de l'Hettangien ; il se prolonge au Sinémurien par du calcaire argileux relativement imperméable. Jusqu'à présent, le Lias calcaire n'était pas considéré comme aquifère, car il existe très peu de captages productifs dans cette formation. Cependant, quelques forages récents se sont révélés productifs dans la région de Saint-Amand-Montrond (18), d'où un regain d'intérêt.

3. Données de base

3.1. BIBLIOGRAPHIE

Elle est reprise de la première phase, en sélectionnant les documents relatifs à la qualité de l'eau. Le résultat est présenté en fin de rapport.

La documentation comprend :

- les synthèses régionales ;
- les notices de cartes géologiques.

Les synthèses hydrogéologiques régionales traitent très rarement de la qualité des eaux souterraines. Tout au plus, donnent-elles quelques paramètres de captages, d'une façon ponctuelle. De la bibliographie donnée en annexe du rapport de la phase 1, nous ne trouvons que six rapports.

Les chapitres hydrogéologiques des notices de cartes géologiques à 1/50 000 sont de qualité très inégale. Tout d'abord, ce volet est absent sur les cartes les plus anciennes ; ce n'est qu'à partir des années 1980 que l'on voit un bref commentaire, axé seulement sur la nature du réservoir et la piézométrie. Les premières notices complètes de la région paraissent à partir de 1990, au BRGM.

3.2. FICHIERS DISPONIBLES

Trois types de fichiers ont été utilisés :

- base ACCESS du BRGM ;
- fichiers des DDASS du Cher et de l'Indre ;
- fichiers de la base ADES

3.2.1. Base ACCESS

Cette base est le résultat de la phase 1 de l'étude BRGM de 2002 (rapport BRGM/RP-51887-FR, ann. 9 à 13). Ces fichiers ont été constitués à partir du fichier général « **F_Données_Ouvrage.xls** », contenant les données de 6 127 forages.

Le principe de base est l'identification d'un point par ses coordonnées x et y, auquel on attribue un indice pour la Banque du Sous-Sol, dit n° BSS.

Cette base est présentée dans le rapport de 2002 en différenciant les systèmes aquifères et les unités géologiques. Cette deuxième différenciation détaillée n'est pas toujours faite, principalement pour les forages profonds pour lesquels les coupes

géologiques ne sont pas assez précises pour identifier l'unité correspondant au captage.

Cette base indique aussi les usages : agriculture, industrie, énergie, alimentation en eau potable (= AEP). Sachant que la quasi-totalité des analyses de l'eau provient des captages d'eau potable, un tri est fait à ce niveau et le résultat est comparé aux fichiers qui suivent.

Les résultats figurent dans quatre fichiers où les deux départements sont assemblés : TITHONIEN.xls, OXFORDIEN.xls, DOGGER.xls, LIAS.xls.

3.2.2. Fichiers des DDASS

Ils sont issus de la base SISEAU. Ils se présentent différemment dans les deux départements.

• Département du Cher

L'acquisition s'est faite en trois temps :

- envoi par la DDASS de la liste des captages AEP pour lesquels elle possède les données, avec nom de la commune et la plupart des numéros BSS. La comparaison avec le fichier précédent issu de la base Access a permis de compléter les n° BSS ;
- sélection par le BRGM des captages au Jurassique à partir du fichier Access de l'étude de 2002. Le résultat a été transmis à la DDASS ;
- envoi par la DDASS des analyses des captages concernés, en un fichier unique. « DDASS18jurassiqueCAPAEp18.xls ». Il comprend toutes les analyses chimiques effectuées sur les captages touchant le Jurassique.

• Département de l'Indre

La DDASS a adressé au BRGM quatre fichiers de données relatives au Jurassique (le tri est déjà fait à la source) :

- liste des captages d'eau potable prenant l'eau dans des aquifères du Jurassique : fichier « 36 captages jurassique » ;
- caractéristiques générales des eaux brutes aux dernières analyses (de 2001 à 2004), selon les paramètres physico-chimiques demandés : fichier « 36 jurassique caracteris chimique » ;
- toutes les mesures des teneurs en nitrates disponibles depuis 1991 ou 1993, avec dates des prélèvements : fichier « 36 jurassique NO3 » ;
- les pesticides relevés : fichier « 36 jurassique pesticides ».

Nota : la DDASS de l'Indre suit 98 paramètres analysés par le laboratoire de Poitiers. Ils ne nous ont donné que les paramètres les plus exhaustifs.

La sélection est donc faite globalement pour tout le Jurassique.

Les fichiers indiquent les n° BSS, mais il n'y a pas les coordonnées. Ils ont donc été complétés avec les fichiers issus de la base Access.

3.2.3. Fichier de la base ADES

Le service central du BRGM gère la base de toutes les données sur la qualité des eaux souterraines ; une requête a été faite sur les deux départements du Cher et de l'Indre :

- pour le Cher : fichier « QUALITE_AN_DPT18 » ;
- pour l'Indre : fichier « QUALITE_AN_DPT36 ».

Ces fichiers étant issus en majeure partie des données des DDASS, on retrouve -en principe- toutes les données de ces dernières. Cependant :

- les séries sont beaucoup moins nombreuses, les mesures s'échelonnent de 1997 à 2001 ;
- les mesures de nitrates sont peu nombreuses et ne permettent pas l'établissement d'historique sur de longues périodes.

4. Constitution du dossier « qualité des eaux »

La méthode suivie est illustrée par l'organigramme qui suit (fig. 3). Le fichier de base, global pour tous les captages du Jurassique est la fusion des quatre fichiers :

- données de la base Access de 2002 triées en fonction des « usages » pour obtenir les captages dits « AEP » qui donnent seuls les paramètres physico-chimiques ;
- données de la banque ADES pour lesquelles nous n'avons pas les coordonnées, suivant le principe de confidentialité ;
- données de la DDASS du Cher pour laquelle nous avons trié les captages concernant le Jurassique ;
- données de la DDASS de l'Indre où le tri avait été fait.

Le fichier BRGM a été complété par quelques analyses présentes au Service Géologique Régional et concernant des projets de captages d'eau potable qui n'ont jamais été mis en service, principalement du fait que ces eaux n'étaient pas potables. Le résultat est donné dans le fichier « AN_chi_BSS », comprenant 13 659 mesures, classées par indice BSS.

Le même fichier est présenté par ordre alphabétique des communes : « AN_chi_commune », par commodité pour les services n'utilisant pas encore les indices BSS.

Ce fichier de base a ensuite été éclaté par aquifère pour l'étude de chacun d'eux, puis en fonction du sujet traité :

- Tithonien : 8 captages : 872 mesures ;
- Oxfordien : 85 captages : 10 287 mesures ;
- Dogger : 40 captages : 2 381 mesures ;
- Lias : 2 captages : 116 mesures.

ORGANIGRAMME MÉTHODOLOGIQUE

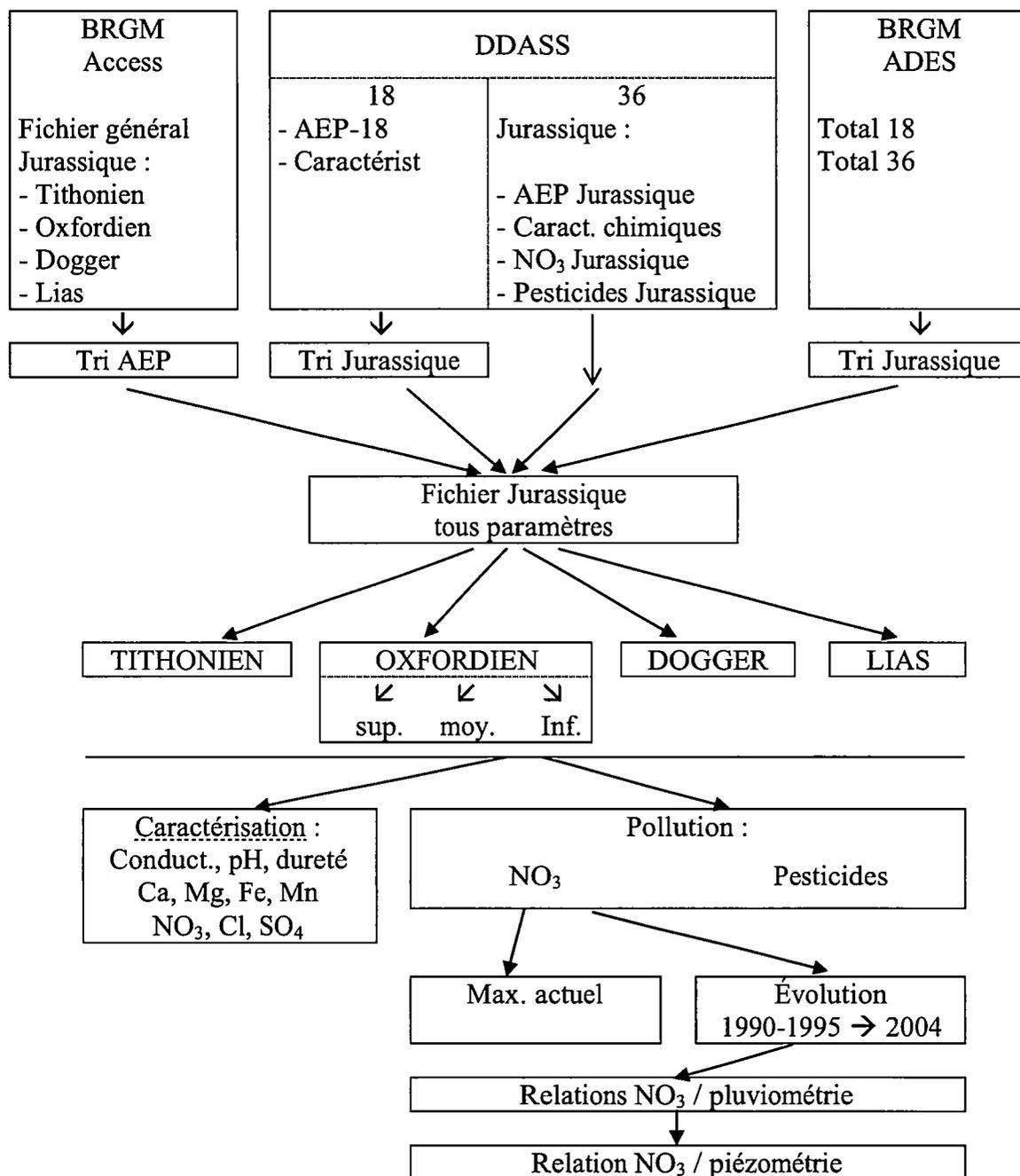


Figure 3 - Méthodologie de la constitution du fichier de base.

5. Caractérisation des aquifères

5.1. INTRODUCTION

Conformément aux souhaits du comité de pilotage, les paramètres retenus sont :

- caractéristiques générales : conductivité, potentiel hydrogène (pH), dureté, oxygène dissout ;
- éléments majeurs :
 - cations : calcium, magnésium, fer, manganèse,
 - anions : chlorures, sulfates, nitrates.

Les résultats sont présentés :

- en annexes, sous forme de tableaux Excel (sur CD) ;
- en cartes, soit à l'échelle 1/250 000 (format A-0) si les données sont abondantes, soit en format réduit A-3 dans le cas inverse.

Pour tous les paramètres, à l'exception des nitrates, les valeurs présentées sont des moyennes. Pour les nitrates, ce sont les valeurs maximales durant la dernière année d'observation.

Une analyse statistique a été tentée pour les aquifères de l'Oxfordien et du Dogger, afin de discerner des familles correspondant à des secteurs précis ou à des conditions de captivité (cf. chap. 5.4).

5.2. TITHONIEN

(cf. pl. 1 à 6 et ann. 1)

La **conductivité** des eaux émergeant du Tithonien (cf. pl. 1) varie assez fortement (384 à 622 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ce qui pourrait laisser supposer que les eaux peuvent avoir une origine différente : soit dans le calcaire même, soit dans les sables du Crétacé inférieur. La conductivité est nettement plus élevée à l'ouest (547 à 622 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et l'est est plus homogène (433 à 464 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mais les données sont trop peu nombreuses pour que l'on puisse en tirer des conclusions.

Les valeurs de **pH** -légèrement basiques- sont très homogènes.

Les eaux sont assez **dures** : 26 à 36 °F (cf. pl. 2), ce qui semble plutôt exclure une origine dans les sables du Crétacé. Les plus fortes valeurs sont concentrées à l'ouest où le réservoir est plus étendu.

Les teneurs en **calcium** reflètent bien la conductivité, avec une même variabilité ; cet élément est le principal cation, ce qui accentue encore plus le rôle de réservoir calcaire.

Il en est de même pour le **magnésium**, malgré des teneurs beaucoup plus faibles (cf. pl. 3) ; en particulier pour le forage de Genouilly (18, n° BSS : 491-5-23) où conductivité, calcium et magnésium varient dans le même sens par rapport aux forages voisins. Sur l'anticlinal de Genouilly, les valeurs sont nettement plus élevées (15 à 43 mg/l) que sur tout le reste des affleurements (2 à 6 mg/l).

On trouve trois valeurs élevées en **fer**, au-dessus du seuil de potabilité (Graçay, Sens-Beaujeu et Saint-Éloi-de-Gy, dans le Cher), mais elles sont dispersées parmi les autres valeurs (cf. pl. 4). Il n'y a pas de relation avec la conductivité, mais sans doute sont-elles liées au caractère localement captif de l'aquifère avec de faibles teneurs en oxygène dissout, ce qui ne paraît pourtant pas vérifié pour Sens-Beaujeu.

Les teneurs en **manganèse** ne suivent pas les mêmes variations que le fer (cf. pl. 5).

Les teneurs en **chlorures** sont plus élevées à l'ouest (21 à 29 mg/l, contre 10 à 18 pour le reste de l'aquifère) ; les variations sont plus fortes à l'est, sans qu'il soit possible de trouver une relation de cause à effet.

Les eaux sont peu chargées en **sulfates**. Les plus fortes valeurs sont rencontrées à l'ouest, vers Graçay et Genouilly.

Les **nitrate**s seront traités à part, sachant qu'ils ne sont pas présents naturellement dans l'eau souterraine. La valeur moyenne est de 25,6 mg/l, mais avec des valeurs actuellement très contrastées (Genouilly, 18), comme on le verra dans le chapitre relatif à l'étude de la pollution.

Les teneurs en **oxygène dissout** semblent bien en relation avec les teneurs en nitrates :

- la plus basse valeur (1,6 mg/l) correspond à la plus faible concentration en nitrates (1,2 mg/l) à Genouilly (18) ;
- les plus élevées (6,1 et 4,2 mg/l) aux plus fortes concentrations (respectivement 29,7 et 33,8 mg/l de nitrates à Sens-Beaujeu et Quantilly).

Ce paramètre doit traduire la captivité de la nappe ; l'analyse n'est pas évidente au vu des documents disponibles. En outre, les deux captages de Genouilly, proches l'un de l'autre, donnent des résultats très contrastés.

Conclusion : les eaux du Tithonien montrent des caractéristiques de réservoir calcaire (pH, dureté, Ca-Mg). Sur le coteau du Pays-Fort où les sources sont nombreuses, et au vu des conductivités très variables, on aurait pu penser que le calcaire fracturé ne servait que de drain au réservoir du Crétacé inférieur sus-jacent. C'était peut être vrai pour quelques sources abandonnées, mais cette caractéristique ne se retrouve plus pour les captages d'eau potable actuels. Les sources de Menetou-Salon (18), abandonnées depuis du fait de leur pollution, montraient aussi ce même caractère

carbonaté. On remarque tout de même que les eaux sont plus minéralisées sur l'anticlinal de Graçay et Genouilly, loin des affleurements du Crétacé du Pays-Fort (18).

Les calcaires du Tithonien constituent donc un réservoir aquifère, mais très peu capacitif, sans doute en raison d'une faible alimentation du fait de leur très faible surface d'affleurement et de leur couverture imperméable du Crétacé inférieur (tabl. 1).

paramètre	moyenne	écart-type	min. – max.
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	550	82,9	384 – 622
Dureté ($^{\circ}\text{F}$)	30	5,1	20,7 – 36,3
pH	7,4	0,14	7,28 – 7,55
Ca ²⁺ (mg/l)	100,96	15,65	80,34 – 114,22
Mg ²⁺ (mg/l)	12,86	13,70	1,5 – 43,38
Cl ⁻ (mg/l)	17,38	8,65	6,85 – 28,75
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	15,63	6,39	12,5 – 30,5
NO ₃ ⁻ (mg/l)	25,63	15,36	1,2 – 45,98
Fe ($\mu\text{g}/\text{l}$)	37,5	29,6	25 – 308,3
Mn ($\mu\text{g}/\text{l}$)	23,75	7,44	14,8 – 33,3
O _{dis.} (mg/l)	3,58	2,02	1,6 – 6,1

Tableau 1 - Tithonien, caractéristiques physico-chimiques, tableau de synthèse.

5.3. OXFORDIEN

(cf. pl. 7 à 11 et ann. 2)

Les calcaires de la base du Kimméridgien et de l'Oxfordien supérieur, qui constituent le réservoir dit de « l'Oxfordien » sont très étendus, formant la plus grande partie de la Champagne berrichonne. Renfermant l'unique ressource disponible, à faible profondeur, les captages sont nombreux, aussi bien pour l'agriculture que pour l'alimentation en eau potable. De ce fait, les données sont abondantes : plus de 10 000 mesures pour les analyses d'eau. Les résultats sont donc représentés sur les cartes à 1/250 000.

5.3.1. Conductivité

(cf. carte en pl. 7)

La conductivité traduit la minéralisation globale de l'eau. Les valeurs obtenues sont relativement homogènes. L'analyse statistique donne une moyenne de 607 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec un écart-type de 98 (cf. ann. 2.1).

Il n'y a pas de répartition géographique évidente : par exemple, à Levroux (36), sur deux forages très proches l'un de l'autre, on note les valeurs 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 701. Un autre exemple est donné près de Jussy-Champagne (18) avec les valeurs 566 et 745 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Une relation a été cherchée avec l'étendue du bassin versant en domaine calcaire : c'est l'inverse que l'on constate dans le bassin de la Trégonce, entre Chézelles et Brion (36). Cependant, on constate que la majorité des valeurs élevées

(plus de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sont groupées au sommet du réservoir, au nord (Levroux, Paudy, Vatan (pour l'Indre) et Bourges).

Une analyse statistique a été tentée en considérant les principaux faciès des calcaires « oxfordiens », selon un découpage basé sur des critères lithologiques :

- partie supérieure regroupant les calcaires du Kimméridgien (calcaires récifaux du Séquanien à l'ouest, calcaire du Buzançais, de la Butte-d'Archelet et à Astartes, et calcaire de Levroux supérieur ;
- partie moyenne : Calcaire du Rauracien, de Levroux, de Montierchaume, de Von, de Bourges et lités supérieurs ;
- partie inférieure correspondant aux calcaires à silex de l'Argovien (à l'ouest), de Pruniers et lités inférieurs, ces derniers étant très étendus dans le Cher.

Les résultats sont portés en annexe 2.2. On remarque que les valeurs sont homogènes, autour de 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'ensemble de la population comme pour chacune des trois populations. Ce critère de sélection n'est donc pas justifié ; la conductivité des eaux ne dépend pas des nappes captées dans ce système.

Une analyse a été tentée pour trois groupes de forages, afin de rechercher une relation avec la conception et la profondeur des ouvrages, à Levroux, Vatan et Bourges (captages du Porche) : on ne constate pas de relation significative avec la profondeur des forages ; les données sur les cotes des crépines sont trop fragmentaires pour que l'on puisse trouver un lien.

Indice BSS	Profondeur (m/sol)	Toit des crépines (m/sol)	Couverture (m)	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Levroux				
516-6-41	60	?	?	711
517-7-26	20	?	?	747
544-3-2	15	5	?	561
544-3-6	20	?	?	570
544-3-76	20	7	7 (marne)	623
544-3-77	51	22	7 (marne)	651
544-3-88	25	?	?	636
- Vatan				
518-5-5	Source			689
518-5-29	26	6	3,5 (alluvions)	994
- Bourges (Le Porche)				
519-7-7	85	17	15	591
519-7-51	102	?	?	620
519-7-56	100	16	3	588
519-7-61	26	8,5	7,4	577

Tableau 2 - Caractéristiques de captages groupés : Levroux, Vatan et Bourges (Le Porche).

5.3.2. Dureté

(cf. carte en pl. 8)

Les eaux de l'Oxfordien sont en général dures (moyenne : 32,2 °F), ce qui est normal dans un réservoir calcaire. L'écart-type faible (3,7) montre une grande homogénéité de la composition de l'eau.

On constate cependant que les plus fortes valeurs (plus de 40 °F) sont localisées tout au nord : Vatan (36), Saint-Doulchard (18). Cela n'est pas à relier à la captivité de la nappe reconnue à Saint-Doulchard, car le calcaire n'est recouvert que par 3 m d'alluvions à Vatan.

5.3.3. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH des eaux du réservoir est très homogène : 7,4, avec un écart-type de 0,17 seulement. La couverture argilo-sableuse de Brenne n'apporte aucune modification.

5.3.4. Calcium

Le calcium est le principal cation à prendre en compte dans ce milieu calcaire. Il est naturellement dominant avec une moyenne de 121 mg/l, avec un écart-type de 17. La composition des eaux est donc encore homogène, à l'échelle des deux départements, et va de pair avec la conductivité et le pH.

Dans le détail, on note parfois une relative variabilité, comme à Levroux (36) où deux captages côte à côte donnent des valeurs de 79 et 117, la valeur la plus élevée correspondant au forage le moins profond. On ne peut donc relier la teneur en carbonates avec la profondeur des niveaux captés. Par contre, au champ captant du Porche, à Bourges (18), les valeurs sont très proches l'une de l'autre, malgré des profondeurs de captage très différentes.

5.3.5. Magnésium

Les teneurs, assez faibles, sont très dispersées, principalement dans le Cher où aucune zonation ne paraît.

Dans l'Indre, de forts contrastes apparaissent autour de Levroux (de 3 à 33 mg/l). Malheureusement, les données techniques sur les captages sont trop incomplètes pour que l'on puisse chercher une cause.

Dans les autres champs captants (Bourges, Issoudun), les teneurs sont très homogènes.

5.3.6. Chlorures

Les valeurs -assez homogènes- sont basses (17 mg/l) avec un faible écart-type. Les valeurs sont régulièrement dispersées ; aucun zonage n'apparaît.

5.3.7. Sulfates

C'est le second caractère anionique de l'eau de l'Oxfordien, mais les teneurs demeurent modestes : une moyenne de 29 mg/l, mais avec un écart-type plus élevé que pour les autres ions majeurs (25 mg/l). La médiane est plutôt de l'ordre de 20 mg/l, mais on trouve quelques valeurs élevées (plus de 100 mg/l), principalement au nord, à proximité du domaine captif (Vatan, Paudy (36), Saint-Doulchard (18)).

5.3.8. Nitrates

Les nitrates sont considérés à part. Ils seront donc traités dans le chapitre spécifique relatif aux pollutions.

Sachant que ce composé a beaucoup varié dans le temps, la carte de la planche 11 présente la teneur maximale mesurée de la dernière année, entre 2000 à 2004, à l'inverse des autres paramètres pour lesquels on a pris la moyenne de l'ensemble des mesures.

Actuellement, la teneur moyenne est de 41 mg/l sur l'ensemble des deux départements, ce qui est très proche de la limite de potabilité.

5.3.9. Fer

(cf. carte en pl. 9)

Cet élément varie toujours très fortement, même sur un captage donné, en fonction du débit pompé ou dans le temps. La carte montre en effet une très forte dispersion des valeurs, avec de forts contrastes entre deux forages voisins. La moyenne a peu de signification, comme on le voit sur le tableau en annexe 2.1.

C'est dans les couches supérieures de l'Oxfordien -mis à part Brives (36)- et en domaine de captivité que l'on trouve les plus fortes teneurs en fer, parfois au-delà de la limite de potabilité (Saint-Genou, Vatan... (36)). Elles ne peuvent donc être reliées à la couverture tertiaire détritique dont la base est constituée par le « Sidérolithique ».

Les très fortes valeurs observées à Vendoeuvres (36) sont accidentelles dans le temps (51 à 5 768 µg/l entre 2000 et 2002). Aux Aix-d'Angillon (18), la forte teneur en fer est peut-être à relier à une pollution, vu le contexte du captage.

5.3.10. Manganèse

(cf. carte en pl. 10)

Le manganèse est souvent associé au fer ; c'est le cas à Meobecq (36), sous la Brenne, à Vendoeuvres (36) pour un seul forage, mais il ne semble pas que cela soit le cas général (Vatan, Lureuil (36)...). Ici encore, une moyenne n'a pas de signification.

5.3.11. Oxygène dissout

Ce paramètre devrait traduire la vulnérabilité de l'aquifère ; les valeurs élevées indiqueraient les captages en communication avec les eaux superficielles et les basses valeurs devraient correspondre aux secteurs où la nappe est captive.

Malheureusement, les données sont peu nombreuses et il n'y a pas de données relatives aux champs captants (Levroux, Bourges...). De même, il aurait été intéressant de connaître les valeurs sous la Brenne où la nappe est captive, mais là aussi, les données sont absentes.

5.3.12. Conclusion

Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau des réservoirs de l'Oxfordien sont très homogènes (conductivité, pH, calcium...), comme le montrent les graphiques de l'annexe 2.2 et sont caractéristiques du milieu calcaire. Les variations observées ne dépendent pas des niveaux litho-stratigraphiques renfermant l'eau ; en particulier, les plus forts écarts peuvent être observés dans un même champ captant (exemple : forages du Porche, à Bourges (18) ou encore plus fortement à Levroux (36)). Malheureusement, les informations sur les coupes techniques des forages sont trop pauvres pour que l'on puisse mettre en cause la conception des ouvrages.

Le tableau 3 présente la synthèse pour cette nappe :

paramètre	moyenne	écart-type	min. – max.
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	607	98,3	424 – 791
Dureté ($^{\circ}\text{F}$)	32	3,7	20,4 – 43,3
pH	7,38	0,17	6,90 – 7,72
Ca ²⁺ (mg/l)	121,22	17,13	70,58 – 151,01
Mg ²⁺ (mg/l)	5,64	4,08	1,9 – 37,38
Cl ⁻ (mg/l)	16,99	5,47	10,07 – 37,65
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	29,13	20,05	6,6 – 121,83
NO ₃ ⁻ (mg/l)	40,93	25,28	0,6 – 109,1
Fe ($\mu\text{g/l}$)	222,78	876,37	7,5 – 5768
Mn ($\mu\text{g/l}$)	13,44	26,62	2,87 – 280
O _{dis.} (mg/l)	4,66	3,52	0,5 – 18,3

Tableau 3 - Oxfordien - Caractéristiques physico-chimiques, tableau de synthèse.

5.4. DOGGER

(cf. pl. 13 à 20 et ann. 3)

La ressource captée dans les formations du Dogger se présente dans des conditions beaucoup plus variées que pour l'Oxfordien : calcaires à nu (principalement dans le Cher), sous recouvrement détritique du Tertiaire (formation d'Ardentes, de Lignièrès, Brenne) ou en domaine captif profond, sous les formations sédimentaires supérieures. Les données sont bien moins nombreuses (2 381 mesures sur 40 captages), car les affleurements sont peu étendus et les forages profonds en nappe captive restent rares.

5.4.1. Conductivité

Ce paramètre traduit la minéralisation de l'eau. La carte en planche 13 laisse apparaître quatre zones :

- le secteur occidental des affleurements, à l'ouest de Châteauroux (36) avec des valeurs moyennes à fortes, mais avec de forts écarts ;
- le secteur central des affleurements, où les valeurs sont généralement faibles (autour de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ;
- le secteur oriental, à l'est du Cher, en domaine faiblement captif, en général, où l'on retrouve de fortes valeurs (plus de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en moyenne) ;
- le domaine captif, au nord des affleurements et à l'est, où les conductivités croissent très fortement, jusqu'à plus de 7 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Bourges.

Le zonage aux affleurements est inexplicable ; on ne peut le rattacher ni au recouvrement des calcaires, ni à la karstification connue. De toutes façons, les écarts sont trop nombreux pour que l'on puisse accorder une signification à ce zonage.

Par contre, la répartition des conductivités en domaine captif trouve sa justification :

- à l'ouest du Cher, les conductivités restent moyennes en domaine captif peu profond, jusqu'à Châteauroux. Dans cette partie, le Dogger est un réservoir reconnu, avec un banc oolithique qui lui assure une perméabilité régulière ;
- en domaine profond, la conductivité est très élevée : plus de 2 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Brion (36), 3 000 à Saint-Florent-sur-Cher (18) et plus de 7 700 à Bourges (18). Ces fortes valeurs sont d'autant plus justifiées que le Dogger est argileux à l'est du Cher, donc peu perméable.

5.4.2. Dureté

(cf. pl. 14)

Le même zonage que pour la conductivité apparaît aux affleurements, avec de faibles valeurs dans la partie centrale (moins de 20 °F), toujours sans explication évidente. Le secteur oriental se démarque très nettement avec de fortes valeurs.

En domaine captif profond, nous n'avons que le forage de Brion (36) qui nous donne une valeur de 20 °F, ce qui est inférieur à celles rencontrées au sud de Châteauroux. Cela devrait correspondre à une eau peu bicarbonatée-magnésienne.

5.4.3. Potentiel hydrogène (pH)

Les eaux du Dogger sont légèrement basiques, avec un pH variant de 7,0 à 7,8 (moyenne = 7,35). La variabilité est plus grande que pour l'Oxfordien (écart-type de 0,22). On ne distingue pas de zonage.

En domaine captif profond, la seule valeur mesurée, à Brion (36), indique une eau plus basique que la moyenne.

5.4.4. Calcium

Les teneurs en calcium montrent une grosse disparité. La moyenne est de 100 mg/l, avec un écart-type de 25. Les valeurs sont élevées dans l'est où le calcaire est à nu, plus faibles au centre sous les Argiles de Lignères ; par contre, aucune relation ne peut être établie à l'ouest avec les formations de Brenne.

En domaine captif profond, les valeurs sont inférieures à la moyenne, surtout pour Brion (36) où la très faible teneur en calcium (48 mg/l) confirme la duresse. Cela ne concorde pas avec le principe d'une eau dont la concentration en sels augmente en domaine captif profond.

5.4.5. Magnésium (cf. pl. 15)

C'est dans la partie captive profonde que l'on rencontre les plus fortes teneurs en magnésium : 45 mg/l à Brion (36), 34 à Saint-Ambroix (18), 153 à Bourges, pour une moyenne de 6,7 mg/l sur l'ensemble des captages.

5.4.6. Chlorures (cf. pl. 16)

Les eaux du Dogger sont peu chlorurées : 17,6 mg/l en moyenne, mais plutôt 15 aux affleurements.

C'est sur les forages profonds qu'on relève de fortes valeurs : 365 mg/l à Saint-Florent-sur-Cher (18) et surtout 1 500 mg/l à Bourges. Si le sodium avait été pris en compte, on aurait trouvé des eaux essentiellement chlorurées sodiques, comme cela a été décelé sur les forages de recherche pétrolière et les forages géothermiques vers le Centre du Bassin parisien, où la salinité -dite « NaCl »- représente jusqu'à 99 % de la salinité totale de l'eau. On trouvera sur la carte de la planche 17 ce type de salinité au sud du Bassin qui montre bien son accroissement avec la profondeur.

5.4.7. Sulfates

Les teneurs en sulfates sont faibles en général (moyenne de 12,8 mg/l), mais varient du simple au quintuple aux affleurements (écart-type de 9,9). Les plus fortes valeurs sont principalement regroupées dans la vallée amont de la Creuse. Une valeur anormalement élevée est observée dans le Cher (50 mg/l à Ourouer-lès-Bourdelins).

En domaine captif, ce composé reste à une teneur basse à l'ouest du Cher. Mais il atteint de très fortes valeurs à Saint-Florent-sur-Cher (18) avec 930 mg/l et surtout à Bourges (2 500 mg/l). On peut se poser la question d'une drainance depuis le Trias – où les eaux sont sulfatées, malgré la présence du Lias supérieur argileux très épais, sachant que ces deux forages ont été implantés sur des accidents géologiques majeurs qui étaient recherchés à dessein, afin d'avoir la productivité maximale du fait de la fracturation de la roche.

5.4.8. Nitrates

Actuellement, les teneurs en nitrates des eaux du Dogger sont assez homogènes et relativement faibles : moyenne de 22,7 mg/l, avec un écart-type de 13 (cf. ann. 3.1 et pl. 20).

On aurait pu s'attendre à avoir les plus faibles valeurs en amont des grands bassins, c'est-à-dire vers le sud, sachant que les terrains plus anciens sont essentiellement argileux, donc avec moins de surfaces cultivées. Il n'en est rien, sans doute en raison de l'importance du recouvrement détritique sur le calcaire qui semble le critère principal expliquant les faibles valeurs relevées.

En domaine captif peu profond, les teneurs restent relativement fortes (Méobecq, Déols, Chezal-Benoit, dans l'Indre), peut être du fait que les calcaires du Dogger sont en relation avec ceux de l'Oxfordien (il y a lacune des marnes callovo-oxfordiennes) et que la captivité n'y est pas avérée.

5.4.9. Fer

(cf. pl. 18)

Sur les zones d'affleurement, deux captages seulement donnent des valeurs supérieures à la norme de potabilité, dans l'Indre : Nuret-le-Ferron (1 450 µg/l) et Chasseneuil (272 µg/l). Ces points sont isolés ; aucune relation avec la géologie n'apparaît, au vu des coupes, à moins que des couches équivalentes au Sidérolithique soient présentes à la base du recouvrement ou en remplissage dans des poches karstiques.

En domaine captif, la teneur en fer augmente très rapidement avec la profondeur : 852 µg/l à Saint-Ambrois, 7 750 µg/l à Saint-Florent-sur-Cher.

Les nombreuses valeurs de « 50 », que l'on relève sur la carte, ne sont dues qu'au seuil de détection donné dans les fichiers.

5.4.10. Manganèse (cf. pl. 19)

Quelques forages présentent des teneurs élevées en manganèse, le plus souvent en liaison avec les fortes teneurs en fer : Chasseneuil (0,2 mg/l) (36) et -dans une moindre mesure- Saint-Ambroix (0,03 mg/l) (18). La relation n'existe plus pour les autres forages. Comme pour le fer, les valeurs de 5 µg/l correspondent au seuil de détection.

5.4.11. Oxygène dissout

Ce paramètre traduit la captivité de la nappe. Cependant, les mesures sont rares pour que l'on puisse tirer des conclusions claires. On remarque seulement :

- les plus faibles valeurs correspondent aux forages où la ressource est la plus profonde : à Brion (36), Saint-Ambroix (18) ;
- la forte teneur à Chezal-Benoît prouverait la continuité entre les aquifères du Dogger et de l'Oxfordien ;
- la couverture détritique à Lignères n'assurerait pas la captivité de la nappe.

5.4.12. Conclusion

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du Dogger sont beaucoup moins homogènes que celles de l'Oxfordien. Une première répartition semble se dessiner géographiquement, avec des eaux moins minéralisées dans la partie centrale des affleurements, entre l'Arnon et le Cher, sans que l'on puisse dégager la cause.

La nappe du Dogger étant captée en domaine profond, on suit nettement l'évolution des caractéristiques de l'eau avec la profondeur : augmentation de la salinité, essentiellement par le chlore, les sulfates, le fer et le manganèse. Les forages de Brion (36) et de Saint-Ambroix (18) sont les captages les plus profonds pouvant donner une eau utilisable pour l'eau potable, après traitement du fer et du manganèse. À plus grande profondeur, l'eau est trop salée pour pouvoir être utilisée (Saint-Florent-sur-Cher, Mehun-sur-Yèvre, Bourges (18)).

Le tableau 4 présente les valeurs statistiques pour les paramètres retenus dans cette nappe. Les moyennes n'ont pas beaucoup de signification dans la mesure où les forages profonds donnent des valeurs très élevées de la minéralisation totale.

paramètre	moyenne	écart-type	min. – max.
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	546,8	121,8	301 – 7760
Dureté ($^{\circ}\text{F}$)	26,3	6,3	12,5 – 37,5
pH	7,35	0,22	7,0 – 7,84
Ca ²⁺ (mg/l)	100,6	25,1	45,2 – 135,9
Mg ²⁺ (mg/l)	6,7	4,3	2,0 – 153,0
Cl ⁻ (mg/l)	17,6	7,3	11,9 – 1500
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	12,8	9,9	4,0 – 2500
NO ₃ (mg/l)	22,7	13,2	0 – 53,4
Fe ($\mu\text{g/l}$)	63,6	255	0 – 7750
Mn ($\mu\text{g/l}$)	6,13	9,5	5 – 200
O _{dis} (mg/l)	3,6	2	2 – 5,8

Tableau 4 - Dogger - Caractéristiques physico-chimiques, tableau de synthèse.

5.5. LIAS

Les captages au Lias inférieur sont très peu nombreux. La première requête avait donné 16 captages concernant le Lias. En fait, l'analyse des dossiers de la banque du sous-sol (BSS) au BRGM a conduit à éliminer la presque totalité des points pour lesquels le terme « infra-Lias » avait été donné pour les sables et grès du Rhétien ou Trias. Un seul point de la liste reste indéterminé : le forage de Lacs (36) qui démarre dans les marnes du Sinémurien, juste au-dessus des calcaires qui renferment la nappe du Lias. Il existe pourtant un forage captant avec certitude la nappe des calcaires du Lias : celui de Maisonnais (18), qui était prévu pour de l'embouteillage et bénéficie donc d'une analyse d'eau. Tous les autres forages captant l'eau de cette nappe sont destinés à l'agriculture.

En conséquence, nous ne présentons pas de carte pour cet aquifère, mais seulement le tableau des données, pour cet unique dernier forage, avec celui -douteux- de Lacs (cf. ann. 4).

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

- une minéralisation peu élevée (conductivité moyenne de 470 $\mu\text{S/cm}$) ;
- une faible dureté ;
- une teneur en calcium faible.

Signalons une forte teneur en fluor à Maisonnais (2,15 mg/l), au-delà du seuil de potabilité. Notons que la même anomalie se rencontre dans la nappe du Trias, au nord de Chaillac (36), où se trouvent des gisements de barytine.

6. Étude de la pollution

6.1. MÉTHODOLOGIE

La pollution des nappes des calcaires du Jurassique est le principal problème de la Champagne berrichonne et qui a conduit à la programmation de la présente étude.

La pollution sera traitée selon deux critères :

- la présence de nitrates, lesquels se révèlent un excellent indicateur ;
- les pesticides, essentiellement liés à l'agriculture, mais aussi aux voies de communication (désherbage le long des routes et des voies ferrées), à l'entretien des zones urbaines et aux jardins de particuliers.

6.1.1. Nitrates

Ce thème est abordé de deux façons : l'état actuel et l'évolution des teneurs.

- **L'état actuel** : il fait l'objet de cartes lorsque les données sont suffisantes. Les résultats sont représentés sur deux types de cartes :
 - . si l'on considère la position des points de mesure, par rapport aux affleurements. Les valeurs retenues sont les maximums relevés aux dernières analyses, entre 2002 et 2004, à l'inverse des autres paramètres pour lesquels la moyenne de toutes les analyses avaient été prises. Ce sont en effet les plus fortes valeurs qui importent pour la potabilité d'une eau. Les données sont également présentées sur des tableaux en annexe ;
 - . les relations avec l'occupation des sols : les pratiques agricoles étant la cause principale de la pollution par les nitrates et les pesticides, nous avons mis en relation l'état actuel des teneurs en nitrates avec le rapport des surfaces agricoles utilisées (S.A.U.) sur les surfaces des communes. Pour ceci, nous avons utilisé les données fournies par les MISE. Les résultats sont reportés d'une part sur un tableau (ann. 9.1) et sur graphique (ann. 9.2). Un bilan est présenté en fin de synthèse (chap. 7.5). Les surfaces des cultures par commune issues du R.G.A. et reprises dans le rapport de la DIREN de 2003 sont également notées.
- **L'évolution de la teneur en nitrates** : elle est étudiée à partir des nombreuses données informatisées transmises par les DDASS des deux départements. Les résultats sont présentés sous deux formes :
 - . par histogrammes, depuis les données les plus anciennes acquises (1990) jusqu'aux plus récentes. Les pas de temps varient énormément d'un captage à l'autre : jusqu'à 3 ou 4 mesures par an pour les captages fournissant les plus gros volumes, mais tous les 3 ou 5 ans pour les petites communes. Les histogrammes les plus significatifs sont groupés en annexe, par aquifère ;

- sur des cartes de tendance entre les années 1991-1995 et 2002-2004. Sachant la rareté des mesures pour la plupart des captages, nous n'avons pu prendre des limites fixes (1991-2004 par exemple).

Les variations des teneurs en nitrates ont été analysées en fonction de plusieurs facteurs : la pluviométrie et la piézométrie, laquelle est la résultante de l'infiltration. Ces deux informations ont été reportées sur les histogrammes définis précédemment.

• La pluviométrie

Les hauteurs de pluie sont mesurées sur de nombreuses stations et peuvent être mises en relation avec les historiques des teneurs en nitrates. Pour le choix des stations pluviométriques, nous avons effectué un calcul de proximité par rapport aux captages analysés.

Le pas de temps est le mois, sachant que celui des mesures des teneurs en nitrates est -au mieux- le trimestre pour la quasi-totalité des captages. Les valeurs par décades ne nous auraient pas fourni d'indications utiles sur les délais de réponse.

Les stations retenues sont :

- pour le Cher : Fussy, Levet, Mareuil, Orval, Ourouer-les-Bourdelins et Vierzon ;
- pour l'Indre : Ardentes, Brion, Châteauroux, Chezelles, Neuvy-Saint-Sépulchre, Pellevoisin et Reuilly.

Sur les histogrammes, on a reporté la courbe moyenne des pluies, afin de s'affranchir de l'aspect chaotique des pics et pour mieux faire ressortir les tendances inter-annuelles.

Pour mieux rendre compte de l'impact des nitrates sur les nappes d'eau souterraine, le comité de pilotage a suggéré de considérer la pluie efficace, avec :

- un pas de temps par décade, sachant les transferts d'eau rapides dans le calcaire. Par rapport aux pluies mensuelles, nous devrions avoir une meilleure relation pour les périodes considérées habituellement sans pluie efficace ;
- une réserve utile du sol de 30 mm au lieu de 100, conformément à la demande de la DIREN (30-09-04).

Cette méthode devrait être plus précise. Cependant, deux facteurs réduisent cette précision :

- la pluie efficace calculée reste théorique ; elle devrait être nulle -ou presque- en été, alors que des recharges ont été observées sur des piézomètres ;
- la pluie efficace comprend l'infiltration, mais aussi le ruissellement qu'il faudrait exclure, ce qui nécessite une étude complexe ;
- la précision attendue est incompatible avec le pas de temps des analyses d'eau (trimestriel, au mieux).

En conséquence, cette méthode -non prévue initialement- n'est pas retenue, malgré son intérêt, et l'on recherchera une relation plus directe, la piézométrie.

• La piézométrie

Les nitrates sont entraînés vers la nappe d'eau souterraine par la part infiltrée de la pluie efficace. C'est pourquoi nous avons choisi l'analyse comparative des nitrates avec la piézométrie qui est la résultante réelle de la pluie efficace.

Si les cycles annuels sont en général bien marqués, avec les hautes eaux en début d'année et les basses eaux en automne, il n'en est pas toujours de même pour les variations interannuelles qui traduisent des périodes sèches ou très humides. La majorité des enregistrements dans les nappes du Jurassique ne montre que des fluctuations saisonnières monotones, d'une année à l'autre, dues en partie aux prélèvements d'eau, mais aussi au drainage des nappes par les cours d'eau. Pour notre analyse comparative, sur un grand nombre d'années, le choix des piézomètres doit nécessairement être basé sur des courbes montrant une variabilité inter-annuelle nette. Nous n'avons retenu, pour chaque aquifère, que les deux piézomètres les plus réactifs :

- dans le Cher : le piézomètre de Plou (519-5-29), concernant la nappe de l'Oxfordien et celui de Chezal-Benoit (545-8-2) pour la nappe du Dogger ;
- dans l'Indre : celui de Rosnay (569-6-2), concernant la nappe de l'Oxfordien et celui d'Ardentes (571-1-2) pour la nappe du Dogger.

6.1.2. Produits phytosanitaires

Les pesticides et les herbicides sont des produits de plus en plus fréquemment rencontrés dans les eaux de la Champagne berrichonne. Les limites de potabilité (0,1 µg/l pour 1 composé et 0,5 µg/l pour l'ensemble des composés) entraînent l'abandon de plusieurs captages d'eau potable, d'où l'intérêt de leur étude ici.

Ces produits sont très nombreux et la gestion des données est difficile en raison de l'apparition de nombreux produits remplaçant d'autres interdits d'usage, mais dont les effets sur la santé sont encore inconnus. La liste des composés organiques et phytosanitaires, pour l'année 2004, issue de la base ADES est donnée en annexe 5, avec le code « SANDRE ».

Les données présentées proviennent des DDASS :

- département du Cher : fichier unique avec les nitrates, pour les teneurs de l'ensemble des pesticides ;
- département de l'Indre : fichier spécifique « 36_pesti.xls ».

La base ADES a aussi été consultée, nous donnant ainsi les teneurs par produit, pour le Cher.

Les résultats sont reportés d'une part en annexes pour chaque aquifère étudié, d'autre part sur les cartes relatives à l'état des pollutions pour l'Oxfordien et le Dogger, en ne prenant en compte que les points où les teneurs ont dépassé les normes de potabilité.

6.2. TITHONIEN

6.2.1. État actuel

(cf. carte en pl. 6 et ann. 1)

Les teneurs en nitrates sont disponibles sur 8 captages, tous situés dans le département du Cher. Elles varient sur une très large plage, même pour des ouvrages très proches l'un de l'autre comme à Genouilly ; mais dans le cas présent, on remarque que :

- le point 491-6-1 est un puits proche du bourg, avec une teneur de 29 mg/l ;
- le point 491-5-23 est un forage récent, avec cimentation jusqu'à 21 m et situé dans un bois, donnant la valeur de 2 mg/l.

On voit donc que la conception des captages et leur environnement proche sont des facteurs déterminants.

Aucun captage ne présente une teneur au-delà du seuil de potabilité, le maximum étant rencontré à Graçay (49 mg/l en 2004, 46 mg/l en moyenne).

6.2.2. Relations avec l'occupation des sols

Les relations sont donc recherchées dans le département du Cher où se situent tous les captages recensés. Mis à part Saint-Éloy-de-Gy, toutes les autres communes ont un coefficient d'occupation par les cultures (rapport SAU/Surface commune) compris entre 60 et 80 %. Malgré cette relative homogénéité des rapports, on note que les teneurs en nitrates se répartissent entre 2 et 49 mg/l (fig. 4). Il n'y a donc pas de relation apparente entre ces paramètres.

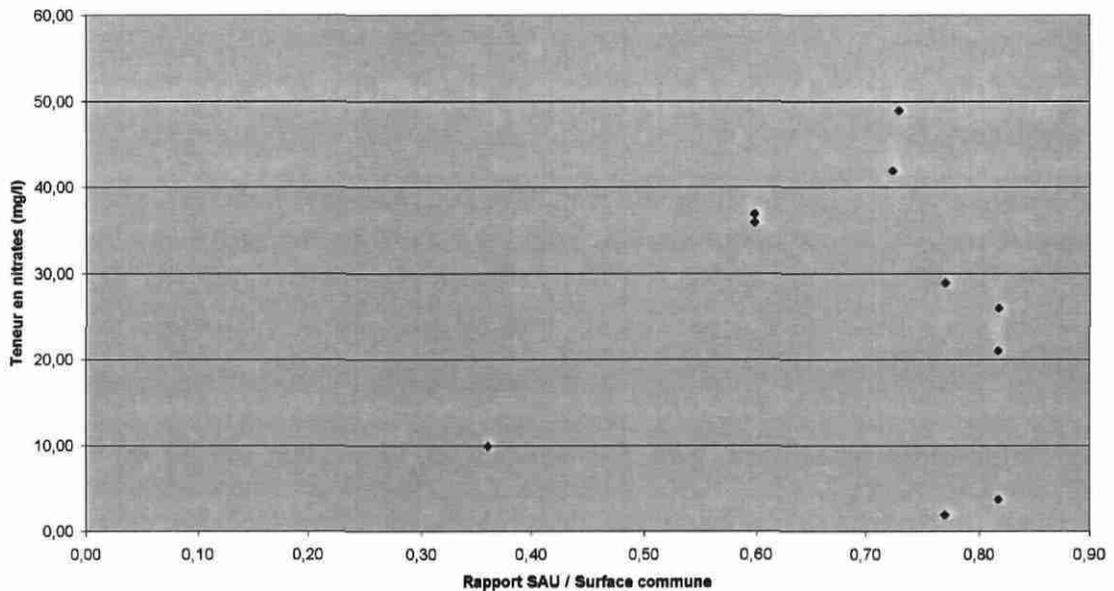


Figure 4 - Tithonien, relations entre teneurs en nitrates et surfaces agricoles.

6.2.3. Évolution de la teneur en nitrates

(cf. ann. 6.1 et 6.2)

Le tableau montre une évolution pratiquement nulle dans la moitié ouest du Tithonien affleurant. À l'est, la croissance semble très forte : autour de 20 mg/l en 20 ans, mais les données sont trop espacées pour qu'il soit possible de confirmer ce zonage.

Les histogrammes ont été tracés pour deux captages du Cher où les données sont suffisamment nombreuses : Quantilly et Graçay (cf. fig. 5). Dans les deux cas, l'évolution générale est pratiquement nulle. À la rigueur, on peut déceler une légère diminution depuis 2001 à Quantilly, avec des minimums plus accentués. En ce qui concerne Graçay, les variations rapides -dues à la vulnérabilité du captage et le pas de temps des mesures trop grand jusqu'en 1998- font que la valeur notée sur le tableau en annexe 6.1 n'est pas significative.

6.2.4. Relations avec la pluviométrie

(cf. ann. 6.2 et fig. 5)

L'histogramme de Graçay n'est pas interprétable, vu le pas de temps trop grand pour les mesures des teneurs en nitrates.

Celui de Quantilly montre une légère relation avec la courbe moyenne pluviométrique où les décroissances sont plus nettes, de 1995 à 1997 et de 2002 à 2004. La dernière, à l'été 2003, peut être mise en relation avec le fort déficit hydrique accompagné d'une forte chaleur, où l'entraînement des produits vers la nappe devait être pratiquement nul.

Mais on ne peut déceler des relations à court terme, avec les averses. Cela pourrait s'expliquer par un temps de transfert vers la nappe relativement long.

6.2.5. Pesticides

(cf. ann. 6.3.)

Trois captages -dont ceux de Quantilly (492-8-2) et de Graçay (518-1-3)- présentent des teneurs au-delà du seuil de potabilité. Tous les trois correspondent aux plus fortes teneurs en nitrates.

6.2.6. Conclusion

L'eau du réservoir du Tithonien n'est connue que dans le département du Cher. Elle est très irrégulièrement polluée, bien que sans excès, les concentrations en nitrates variant de 2 à 49 mg/l, sur peu de distance. Les nitrates prouvent bien leur rôle d'indicateur, les pesticides apparaissant aux captages présentant les plus fortes concentrations en nitrates.

Les deux captages de Graçay et de Quantilly sont assez représentatifs de ce type de réservoir : ils ne montrent pas une progression de la teneur en nitrates, mais présentent les valeurs les plus élevées et les variations les plus brutales, fortes dès l'origine. La vulnérabilité des captages est en cause, mais c'est surtout la faible capacité de ce « réservoir » discontinu, où la ressource est peu abondante, qui explique ce type de variations.

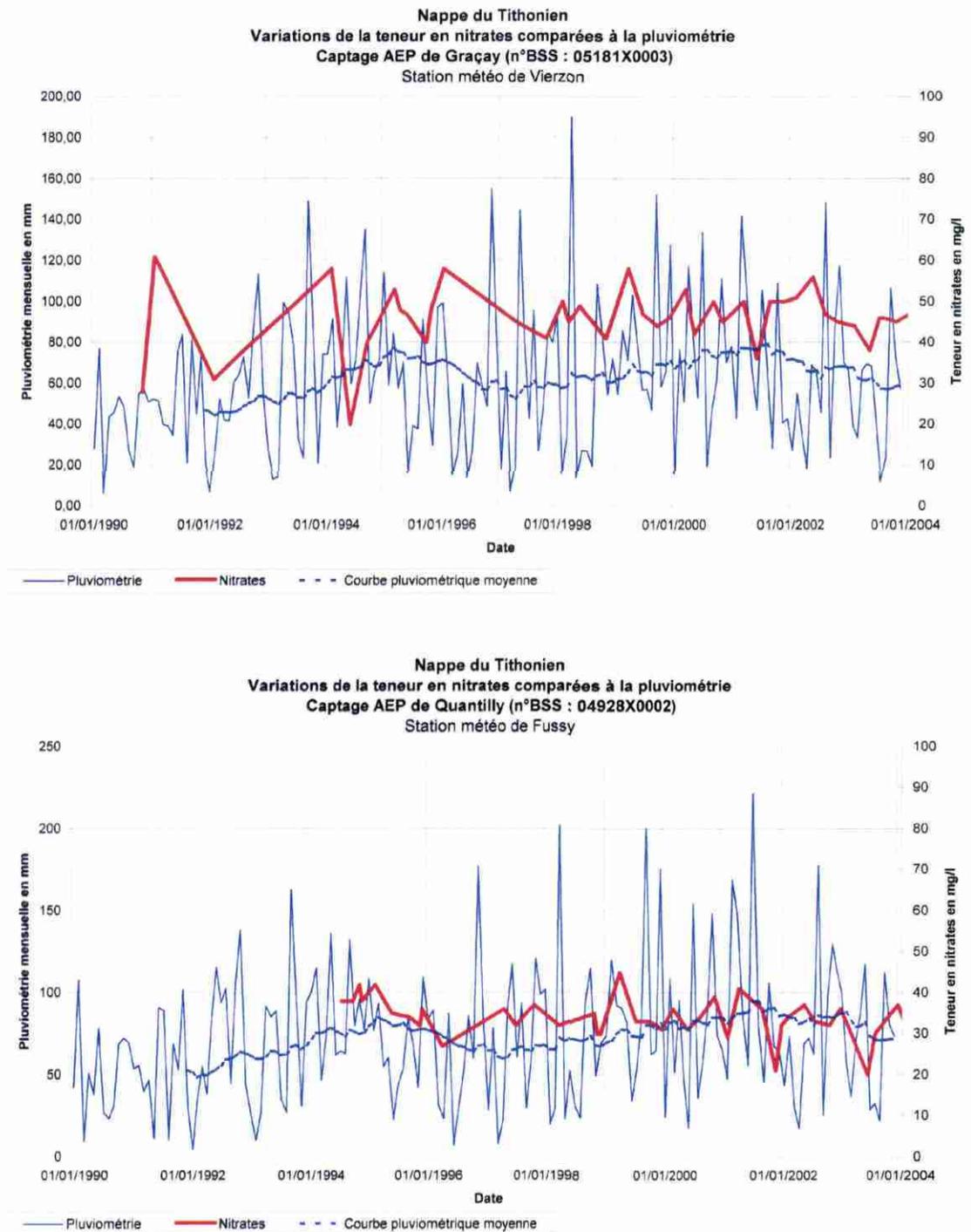


Figure 5 - Captages de Graçay et de Quantilly, évolution de la teneur en nitrates.

6.3. OXFORDIEN

6.3.1. État actuel

(cf. tableau en ann. 2.1 et carte en pl. 11)

La carte des teneurs actuelles en nitrates montre une contamination presque générale de la nappe de l'Oxfordien. La moyenne est de 41 mg/l en nitrates, et avec un écart-type de 25 mg/l. Cependant, on peut différencier plusieurs zones et expliquer quelques anomalies :

- la moitié orientale (à l'est du Cher) paraît la plus fortement touchée, la presque totalité des points présentant une teneur supérieure à la limite de potabilité. Quelques rares captages échappent à cette constatation, comme celui de la base aérienne d'Avord (27 mg/l), mais pour une raison précise (voir plus loin) ;
- en limite nord des affleurements, les teneurs sont plus basses que la moyenne et on trouve quelques valeurs nulles qui correspondent à la nappe captive sous les marnes du Kimméridgien ;
- les formations tertiaires détritiques jouent un rôle protecteur efficace, les points correspondants montrant les plus faibles valeurs sous les Sables du Bourbonnais à l'est, la formation de Lignièrès au centre et principalement sous la Brenne à l'ouest où les teneurs varient de 0 à 23 mg/l ;
- le plus gros contraste est observé autour de Levroux où l'on trouve les valeurs extrêmes : 0 et 109 mg/l, respectivement pour les captages 517-6-41 et 544-3-6 ; le premier forage a 60 m de profondeur et le second 20 m seulement ; mais il est impossible d'aller plus loin dans l'analyse, faute de coupe technique sur les deux ouvrages.

6.3.2. Relations avec l'occupation des sols

(cf. ann. 9.1 et 9.2)

Le graphique de la figure 6 présente la corrélation entre la teneur en nitrates et le rapport « SAU/Surface commune ». On remarque les faits suivants :

- en se rapportant au graphique en annexe 9.2, on note que la majorité des points se placent au-dessus de la droite de régression, ce qui voudrait dire que la nappe de l'Oxfordien est plus sensible aux pratiques agricoles que les autres nappes (celles du Dogger et du Tithonien). Quelques exceptions s'expliquent par la géologie (Jouet-sur-l'Aubois, Saint-Doulchard (18), Brives (36)) ou par l'alimentation (Fontgombault, 36) ;
- une grande dispersion pour un groupe de forages sur la même commune ; le cas des captages du Porche à Bourges (18) est typique, et plus encore celui de Levroux (36) où les teneurs varient de 0,3 à 109 mg/l. Ceci montre bien l'incidence prépondérante d'autres facteurs.

La relation la plus marquante avec l'agriculture est donnée par le captage de la base aérienne d'Avord (n° 520-6-56, (18), cf. fig. 7) ; ici, la faible valeur de la teneur en nitrates est à rattacher directement à l'occupation des sols en amont proche du forage, les terres de l'aérodrome n'étant plus louées pour les cultures depuis les années 1990. L'effet a été spectaculaire sur la teneur en nitrates qui est passée de 58 mg/l (en moyenne) en 1996-1998 à 30 mg/l de nos jours, comme le montre le graphique de la figure suivante.

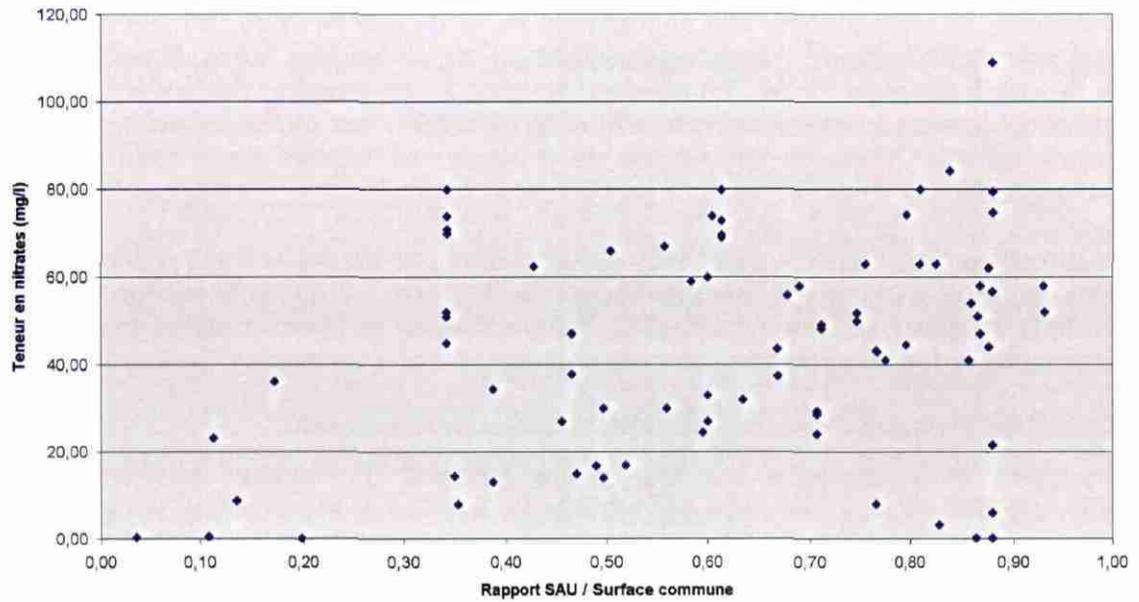


Figure 6 - Oxfordien, relations entre teneurs en nitrates et surfaces agricoles.

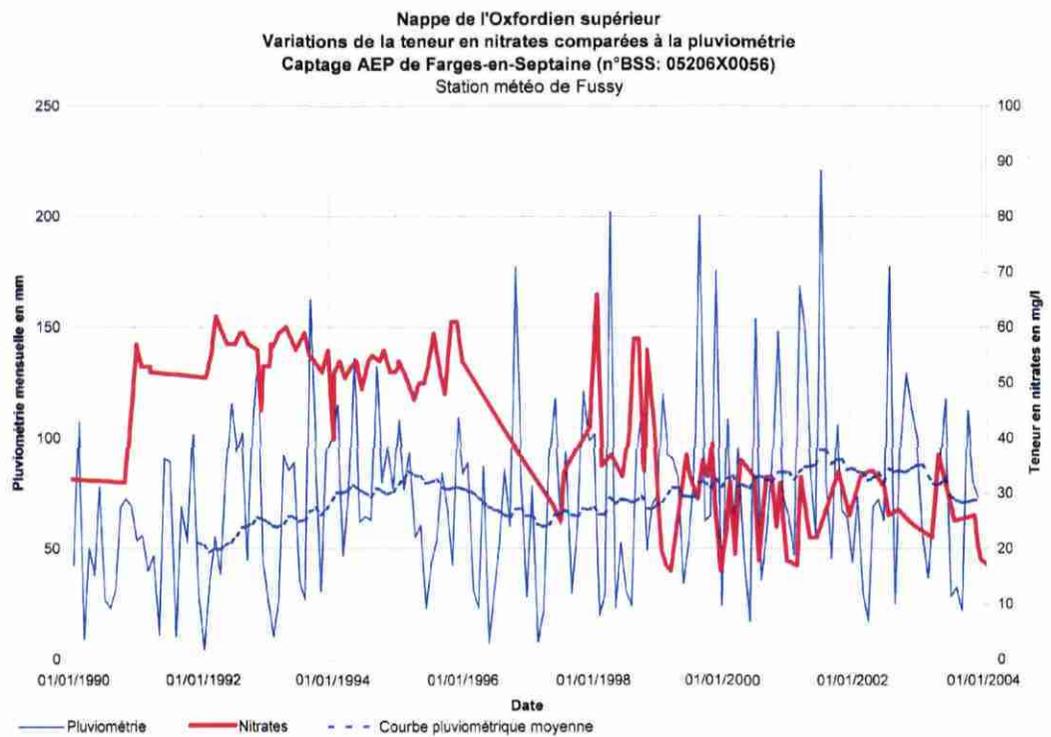


Figure 7 - Captage de la base aérienne d'Avord (05206X0056).
Évolution de la teneur en nitrates.

6.3.3. Évolution de la teneur en nitrates

(cf. tableau en ann. 7.1 et 7.2, ainsi que la carte en pl. 12)

Globalement, la carte montre une dégradation de la qualité de l'eau (en prenant les nitrates comme indicateur). Assez logiquement, on trouve les plus fortes dégradations dans la moitié orientale, là où l'on observe les plus fortes teneurs. Cependant, cette zonation est beaucoup moins nette que pour la répartition des éléments majeurs : on remarque en effet plusieurs diminutions de la teneur en nitrates dans cette même région orientale.

Mais la représentativité de la carte est mise en défaut par les fluctuations rapides des teneurs, comme le montrent les graphiques de l'annexe 7.2 qui effacent les écarts entre deux mesures seulement. En effet, les graphiques montrent presque tous une stabilité globale des teneurs, dans tous les secteurs, malgré les rapides fluctuations.

Les quelques captages montrant une tendance vers la hausse sont :

- Bourges : deux captages sur les quatre groupés du Porche montrent une augmentation récente très nette des nitrates (n° 519-7-7 et 519-7-56) où les teneurs sont passées de 60 à 70-80 mg/l. Ni la couverture argileuse, ni les cotes des crépines (cf. tabl. 2) expliquent cette progression par rapport aux captages voisins, par ailleurs, l'environnement est le même ;
- Les-Aix-d'Angillon, où la source est située en aval du bourg. Elle a reçu de plus plusieurs pollutions urbaines et industrielles ;
- le long de la Creuse (Argenton, le Blanc, Fontgombault) où les valeurs très faibles ont une légère tendance à augmenter.

6.3.4. Relations avec la pluviométrie

(cf. l'ensemble des graphiques, ann. 7.2)

La presque totalité des graphiques montre des fluctuations rapides dans l'année. Nous reportons en figure 8 deux exemples représentatifs où la fréquence des mesures est grande : Mareuil dans le Cher (546-5-2) et Saint-Lactencin dans l'Indre (544-1-2).

On observe deux types de fluctuations :

- les fluctuations saisonnières : les pics de nitrates s'observent toujours en début d'année. Ceux qui sont placés tardivement vers le deuxième trimestre correspondent aux absences de mesures en début d'année. Les pics correspondent donc aux saisons pluvieuses et plus exactement lorsque la pluie efficace est effective ; en effet, les pluies d'été ou d'automne (1994, 2000 par exemple) ne provoquent pas d'augmentation de la teneur en nitrates ;
- les variations interannuelles : rares sont les captages qui sont sensibles aux périodes sèches ou humides. On discerne à peine cette relation sur le captage de Mareuil. C'est plus net sur le captage de Saint-Florent-sur-Cher représenté ci-après (fig. 9).

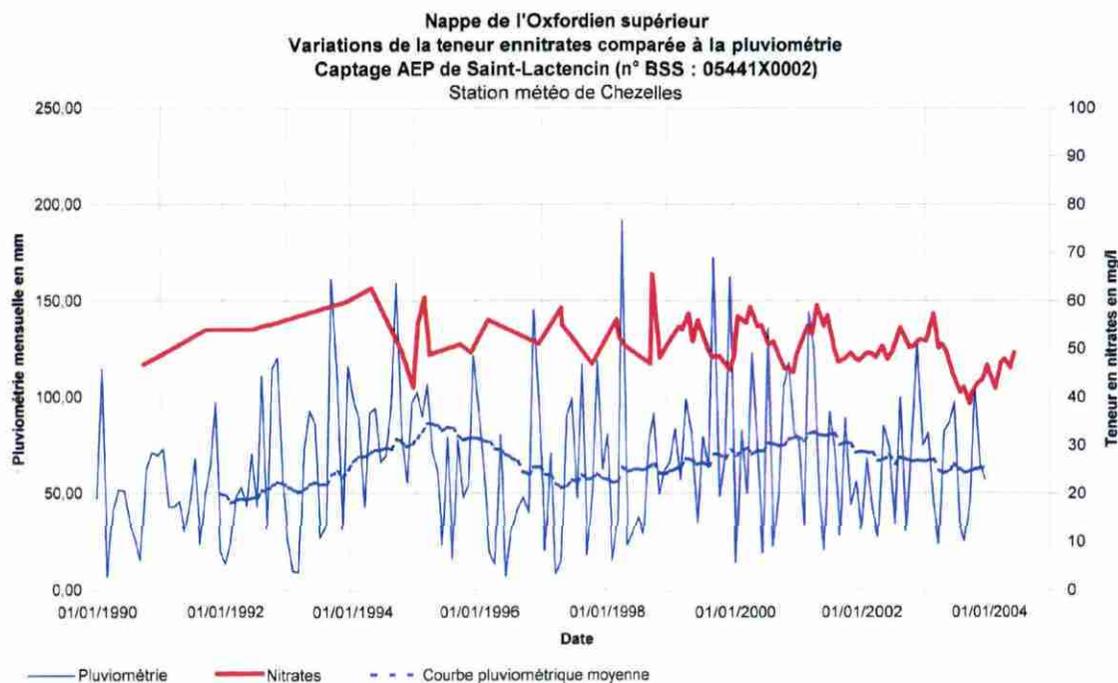
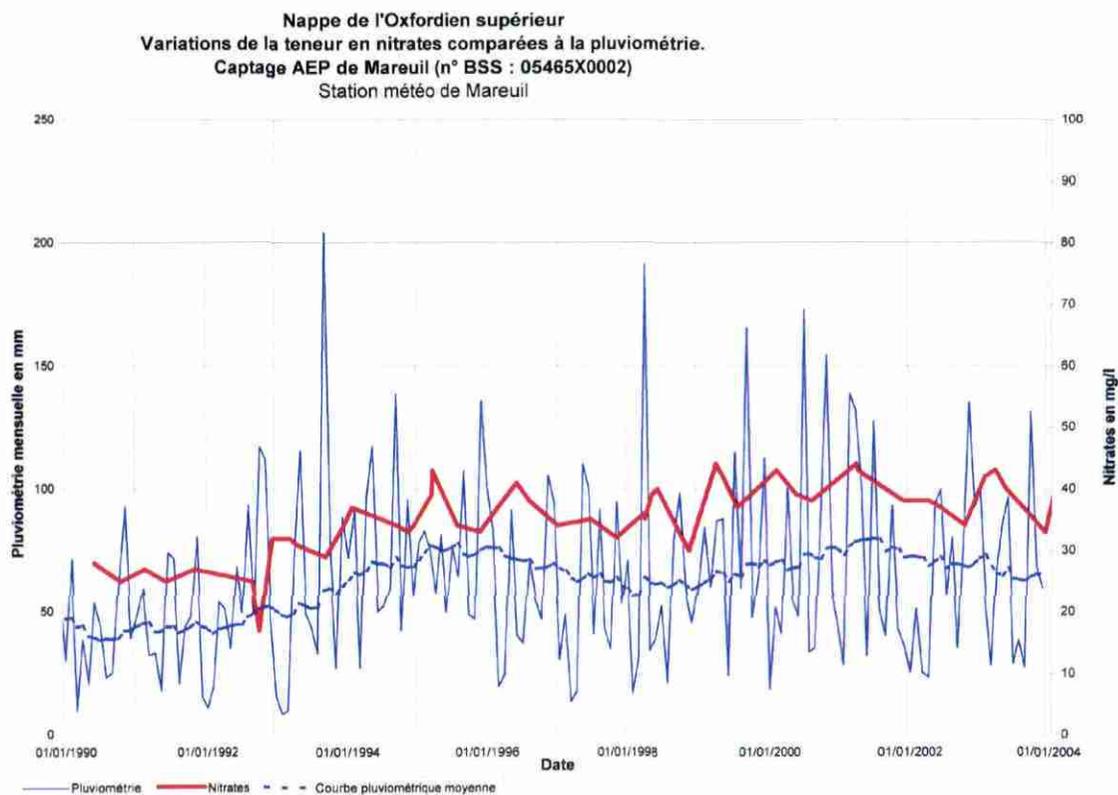


Figure 8 - Variations des teneurs en nitrates comparées à la pluviométrie.

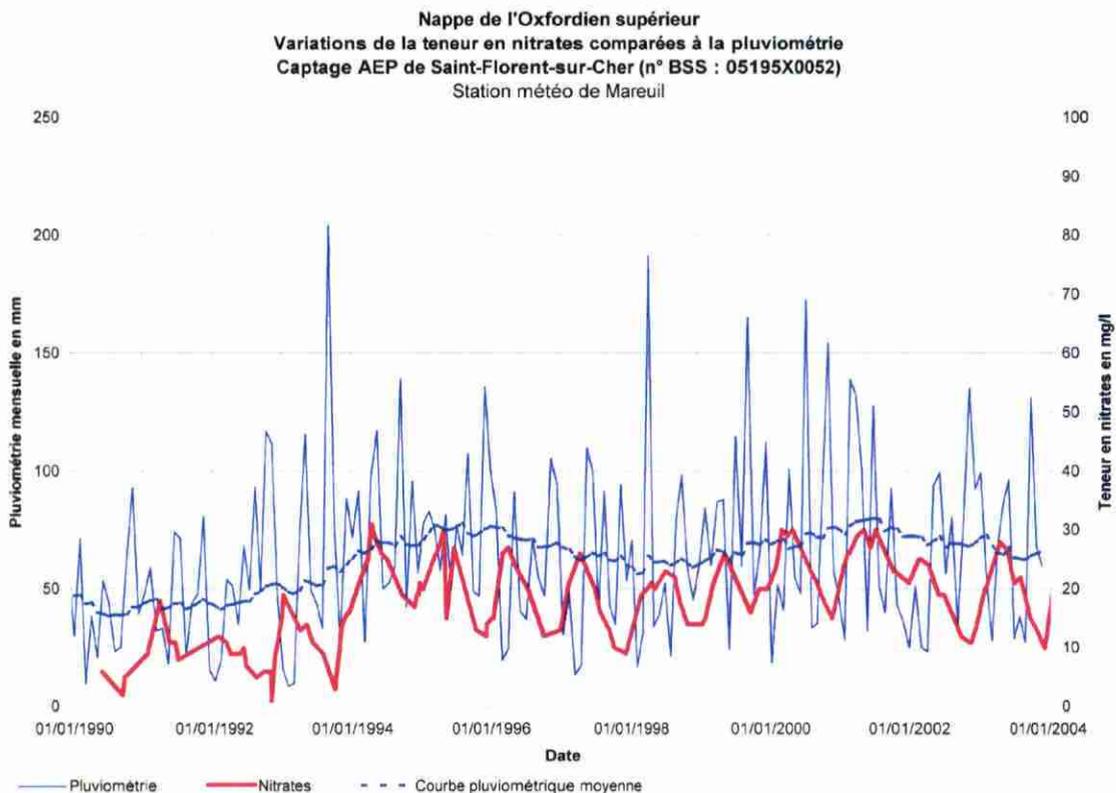


Figure 9 - Variations des teneurs en nitrates comparées à la pluviométrie.
Captage de Saint-Florent-sur-Cher (n° BSS : 05195X0052).

Les courbes moyennes pluviométriques montrent mieux la relation entre la teneur en nitrates et ces périodes. Ainsi, pour les graphiques sélectionnés (cf. fig. 8 et 9), on observe :

- une augmentation de 1992 à 1995, assez brutale ;
- une diminution en 1996 et 1997 ou 1998 ;
- une nouvelle augmentation de 1998 à 2001, année record de pluviométrie ;
- une baisse en 2002-2003.

6.3.5. Relations avec la piézométrie

Les variations piézométriques de la nappe représentent le mieux l'effet des pluies efficaces. Nous avons sélectionné pour cela les piézomètres qui réagissent le mieux aux pluies, éliminant ainsi ceux qui sont influencés par le pompage ou une cote de déversement :

- piézomètre de Plou (n° 519-5-29) dans le Cher ;
- piézomètre de Rosnay (n° 569-6-2) dans l'Indre.

Le pas de temps journalier devrait permettre une plus grande précision qu'avec les pluies mensuelles.

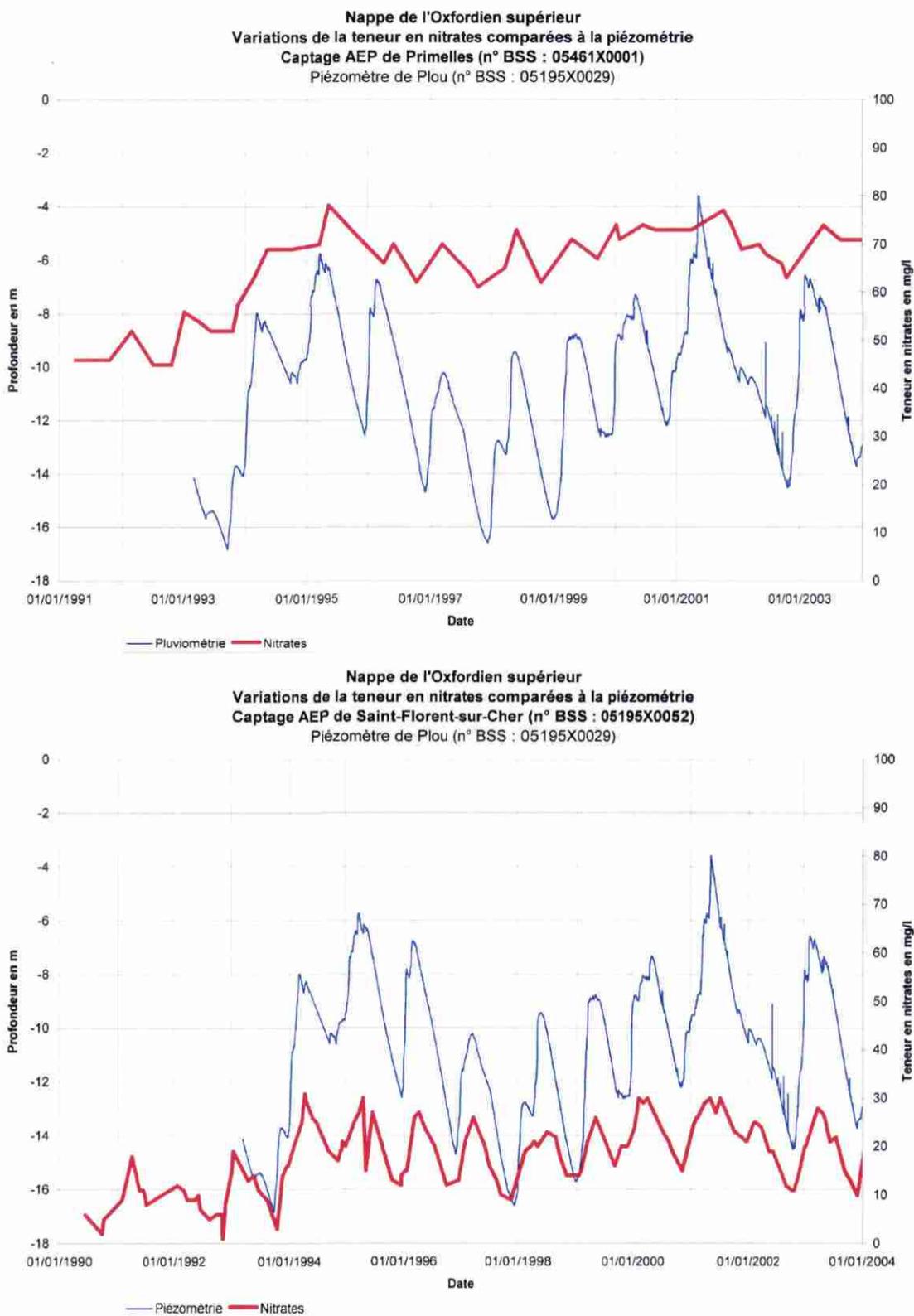


Figure 10 - Variations de la teneur en nitrates comparées à la piézométrie dans le Cher.

Dans le Cher, nous retenons deux histogrammes proches du piézomètre de référence, et présentés sur la figure 10. Dans les deux cas, on voit que les courbes des nitrates suivent les fluctuations piézométriques, en étant plus amorties. À Saint-Florent-sur-Cher où les analyses sont plus nombreuses, on observe la correspondance entre le nombre de pics. Le délai de réponse de la qualité de l'eau est très court, ce qui traduit un transfert très rapide dans la nappe.

La relation la plus marquante est le brusque accroissement correspondant à la recharge brutale de la nappe en 1993. On retrouve encore plus légèrement cette tendance au captage de Mareuil (Cher : 546-5-2).

Dans l'Indre, on ne trouve aucun captage présentant des relations avec la piézométrie.

Pour tous les autres enregistrements, on n'observe aucune relation, du fait des conditions trop différentes (éloignement entre les deux points de comparaison, profondeur de la nappe...). Par exemple, les pics de nitrates au captage de Saint-Lactencin (Indre : 05441X0002, voir en ann. 7.3) sont décalés de près de six mois par rapport aux plus hautes eaux au piézomètre de référence.

En prenant d'autres piézomètres proches d'un captage considéré, on trouve très rarement une relation. Dans le cas du captage de Saint-Lactencin (05441X0002) où la fréquence des mesures en nitrates est très grande, comparé au piézomètre de Saint-Martin-de-Lamps (05442X0018, Indre), la baisse piézométrique de 2001 ne se ressent pas du tout sur les fluctuations de la teneur en nitrates et le minimum en nitrates de 2003 ne correspond pas à une particularité piézométrique.

6.3.6. Pesticides

(cf. tableau en ann. 7.2 et carte en pl. 11)

Le tableau présente toutes les teneurs relevées au-dessus des normes de potabilité, les points correspondant étant reportés sur la carte. Il est curieux de constater qu'un pesticide a été décelé à Lureuil (Indre : 568-4-9), alors que la teneur en nitrates est nulle.

6.3.7. Conclusion

Plusieurs facteurs peuvent expliquer la forte dégradation de la nappe et la forte variabilité de la pollution :

- un réservoir peu capacitif (mis à part de rares zones de faciès oolithique ou récifal). L'eau n'est rencontrée que dans les fractures, l'ensemble étant compact ; les échecs sont très nombreux en recherche d'eau. Ceci se traduit par les fortes fluctuations piézométriques de la nappe ;
- le calcaire est à nu sur la majeure surface de la Champagne berrichonne. La couverture limoneuse est rare, comme le montrent les cartes géologiques, et l'abondance des blocs dans les champs. Les formations détritiques tertiaires ne couvrent que l'extrémité occidentale (Brenne) où les teneurs sont les plus faibles ;

- la faible épaisseur de la couche productrice de la formation aquifère, toujours superficielle. À de très rares exceptions près, les forages n'ont trouvé de l'eau que dans les vingt premiers mètres, comme cela a été constaté lors des campagnes de recherche d'eau pour l'agriculture dans les années 1987-1988 ; les foreurs ont rencontré vite le « bleu », synonyme d'un milieu réducteur en l'absence de circulation d'eau ;
- conséquence du facteur précédent, le sommet de la partie captante (crépines) des forages est très près du sol (exemple : Soulangis, Bourges (18)). Les temps de transfert depuis la surface du sol sont donc très courts ;
- vu le caractère superficiel de la ressource, plusieurs captages consistent en puits qui -par leur conception- protègent mal la nappe captée (exemple : Raymond (18)) ;
- la position de la plupart des captages dans l'axe de cours d'eau. Ceux-ci ont creusé leur vallée préférentiellement là où la roche est fracturée (exemple : Soulangis, Brécy, Avord, Vornay (18), Châteauroux, Saint-Maur, (36)) et c'est au droit de ces vallées actives que l'altération est maximale, augmentant ainsi la perméabilité (exemple : Rians (18)). Les captages drainent donc de grandes surfaces ;
- les captages sont pratiquement tous en milieu exclusivement agricole. On a vu pour le Tithonien le rôle positif des surfaces boisées. Un exemple (très relatif) pourrait être donné par le captage de Mareuil (18) où la teneur actuelle est inférieure à celles des captages environnants.

On voit donc que les causes sont multiples pour expliquer l'état actuel de la pollution de la nappe de l'Oxfordien, pour un même captage.

6.4. DOGGER

6.4.1. Etat actuel

(cf. tableau en ann. 8.1 et carte en pl. 20)

La teneur actuelle en nitrates dans la nappe du Dogger est relativement faible : 22,7 mg/l pour la moyenne de tous les points de mesure, avec un écart-type de 13,2. Un seul captage montre un dépassement de la norme de potabilité : celui d'Ardentes (36), avec une valeur de 52 mg/l.

Mis à part Ardentes, les plus fortes valeurs (supérieures à 35 mg/l) sont localisées à l'est où les calcaires sont à nu. Partout ailleurs, la couverture argileuse (argiles de décalcification) ou détritique (formations de Brenne, d'Ardentes, de Lignièrès) peuvent expliquer cette relativement faible contamination.

En domaine captif profond, les teneurs sont très faibles à nulles : 3 mg/l à Brion, 2 à Saint-Ambroix et nulles à Saint-Florent-sur-Cher et Bourges.

6.4.2. Relations avec l'occupation des sols (cf. ann. 9.1 et 9.2.)

Sur le graphique de la figure 11, on remarque que la presque totalité des points représentatifs du Dogger sont groupés dans des domaines où les surfaces agricoles occupent moins de 50 % du territoire. La carte des affleurements nous montre en effet que les calcaires sont recouverts le plus souvent soit par l'argile de décalcification, soit par les formations détritiques du Tertiaire (Brenne, formation d'Ardentes...), moins propices aux grandes cultures et sur lesquelles bois et prairies occupent des surfaces plus importantes.

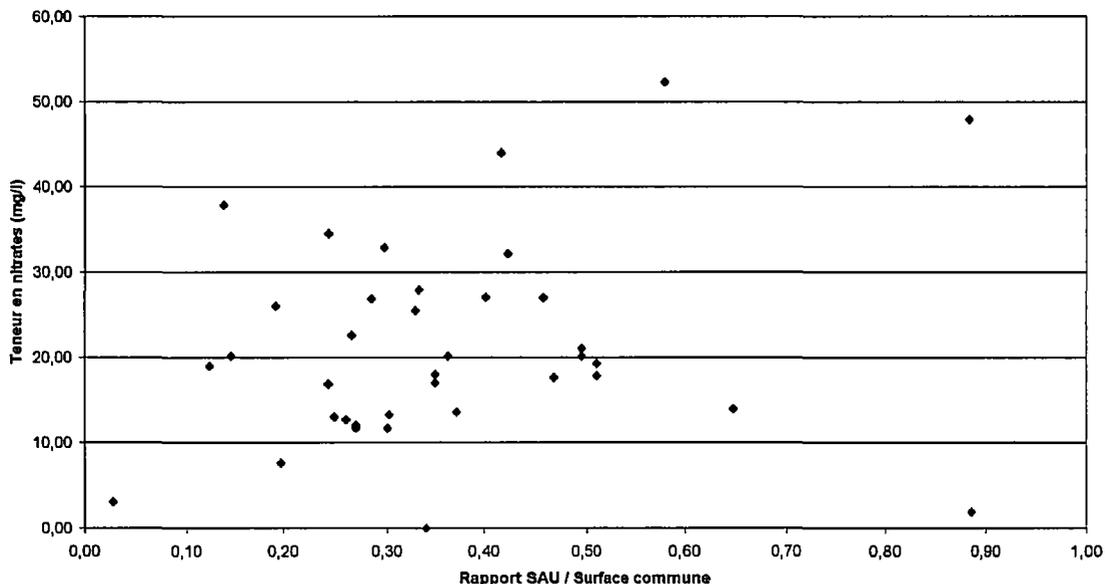


Figure 11 - Dogger, relations entre teneurs en nitrates et surfaces agricoles.

Le graphique montre une très grande dispersion des points ; il n'y a aucune relation entre les teneurs en nitrates et l'importance des surfaces agricoles.

Deux points correspondant à un fort rapport SAU/Surface commune (0,88 et 0,89) donnent des résultats divergents :

- Saint-Ambroix (teneur en nitrates = 2 mg/l) : la nappe est captive, profonde. Les activités de surface ne peuvent avoir aucune incidence ;
- Ourouer-les-Bourdelins (teneur en nitrates : 48 mg/l) où les terres agricoles occupent 88 % de la surface de la commune : la nappe est superficielle, non protégée. Si l'on excepte Ardentes, ce captage présente d'ailleurs la plus forte teneur en nitrates.

Ces points montrent l'importance des couches protectrices des terrains.

6.4.3. Évolution de la teneur en nitrates (cf. tableau en ann. 8.2 et pl. 21)

Pour la presque totalité des points, l'évolution a été déterminée depuis 1990-1991, soit sur un minimum de 12 ans.

La nappe du Dogger présente une dégradation par les nitrates très faible en moyenne.

Quatre captages montrent un très fort accroissement des teneurs en nitrates, se démarquant très nettement de l'ensemble des autres points : Ciron, Saint-Gaultier, Ardentes et la Celle :

- pour la Celle (572-4-11, Cher), les très fortes fluctuations dans l'année rendent la droite moyenne peu évidente. Pour Ciron et Saint-Gaultier (Indre), les mesures sont trop espacées pour que l'on puisse conclure à une dégradation certaine de la qualité de l'eau. Cependant, on remarque que ces trois captages se situent sur les affleurements du calcaire, en l'absence de recouvrement (fig. 12) ;
- à Ardentes (571-1-8, Indre), la dégradation est régulière, significative (fig. 13). Deux explications à cette pollution record pour le Dogger :
 - le contexte géologique : le calcaire est surmonté par une formation détritique grossière, poreuse ; la nappe n'est donc pas protégée naturellement,
 - l'environnement : le forage est en milieu exclusivement agricole et on relève de très nombreuses dépressions en amont proche.

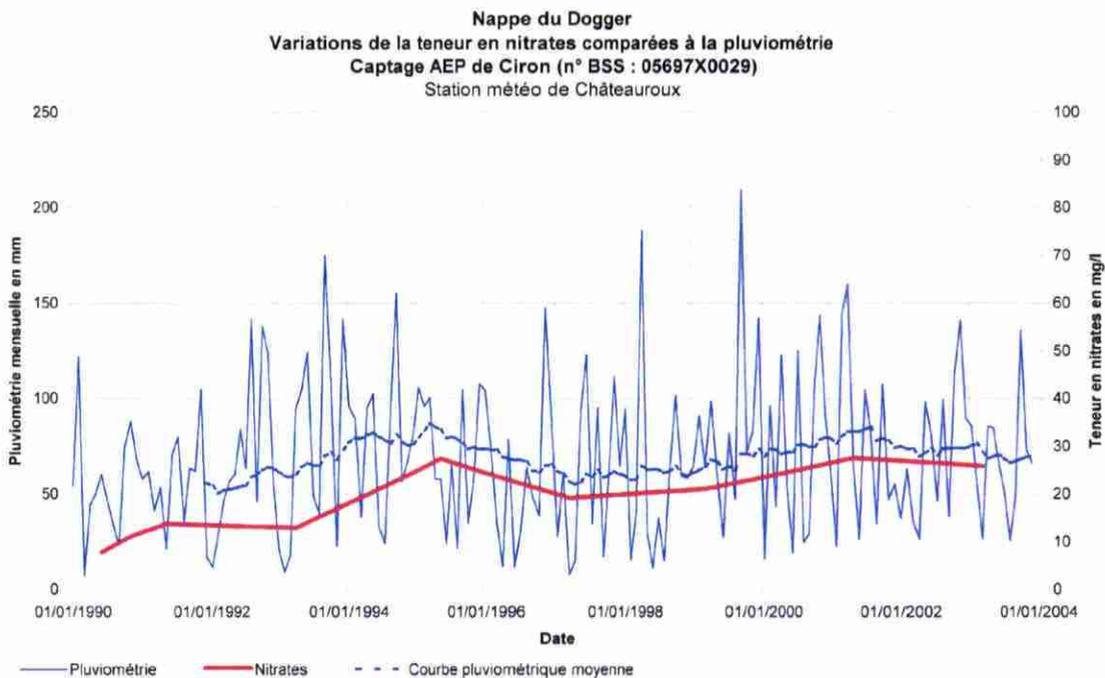
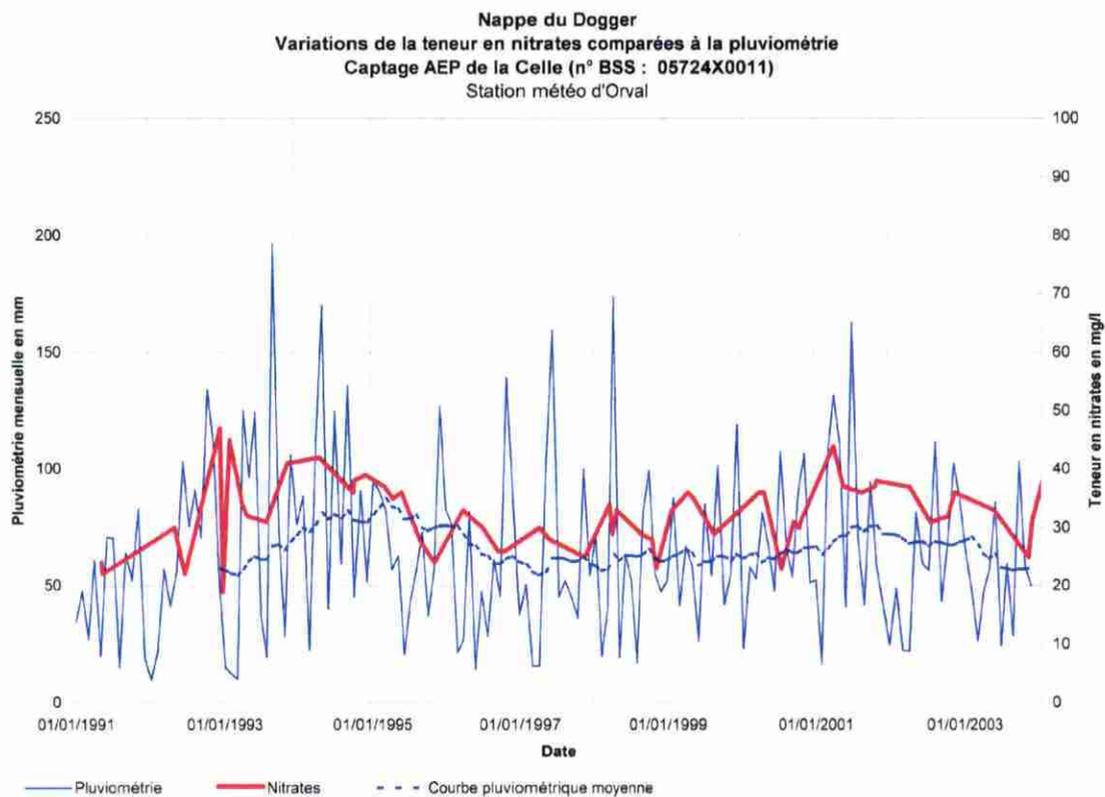


Figure 12 - Variations des teneurs en nitrates comparées à la pluviométrie.

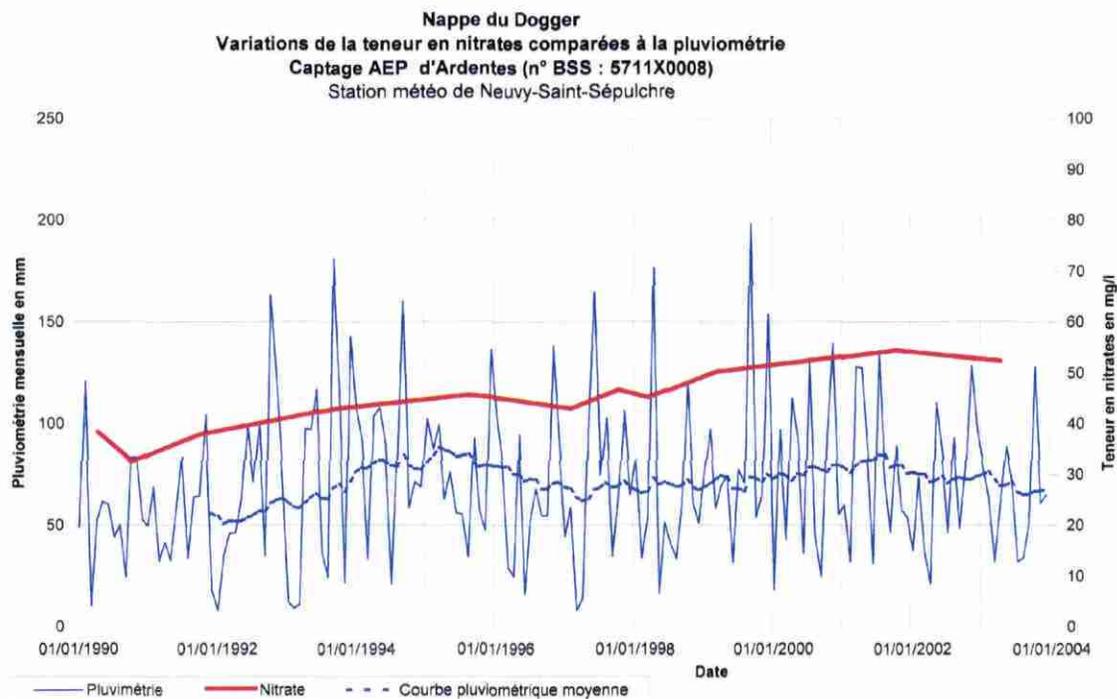


Figure 13 - Captage d'Ardentes (05711X0008). Évolution de la teneur en nitrates.

6.4.4. Relations avec la pluviométrie (cf. ann. 8.3)

La très grande majorité des graphiques ne montre aucune relation entre les teneurs en nitrates et la pluviométrie. Nous citerons en exemple les captages de Verneuill dans le Cher (547-5-59) et de Méobecq dans l'Indre (569-4-1) (cf. ann. 8.3).

En ce qui concerne les variations saisonnières, deux captages offrent une fréquence de mesures suffisante pour chercher une relation, mais seul le captage de la Celle (572-4-11, Cher (cf. fig. 12)) montre nettement les pics en nitrates situés en période hivernale laquelle correspond aux pluies efficaces où les sols sont nus. Pour le forage de Lignièrès (572-1-1, Cher), où le calcaire est recouvert par les formations argileuses (Argiles de Lignièrès), les mesures sont stables et ne montrent pas de variations.

En ce qui concerne les variations inter-annuelles, quatre captages seulement montrent un parfait parallélisme avec la courbe moyenne pluviométrique :

- dans le Cher, le captage de la Celle (572-4-11), seul forage présentant des variations nettes des teneurs en nitrates (cf. fig. 12) ;
- dans l'Indre, ceux de Ciron (569-7-29) (cf. fig. 12), Saint-Gaultier (570-5-5), malgré la faible nombre de mesures, et à peine le Blanc (568-8-3). C'est dans cette région que les indices karstiques sont les plus forts.

6.4.5. Relations avec la piézométrie

(cf. ann. 8.4)

Les relations ne peuvent être recherchées que pour les captages présentant des fluctuations de la teneur en nitrates.

Pour les variations saisonnières, nous n'avons que l'exemple de la Celle (fig. 14). L'amplitude des pics suit bien celle des niveau piézométriques. Mais on ne peut rien conclure pour le délai de réponse, les analyses étant trop espacées.

Pour les variations inter-annuelles, on observe une relation nette mais de très faible amplitude aux captages de Ciron (569-7-29) et d'Ardentes (571-1-8) (fig. 14).

6.4.6. Pesticides

(cf. ann. 8.5)

Dans la partie orientale, la présence de pesticides correspond aux points de fortes teneurs en nitrates, où le calcaire n'a pas de recouvrement.

Déols est dans un environnement défavorable, tant sur le plan agricole que pour les activités humaines. C'est aussi un des captages qui présente la plus forte augmentation de la teneur en nitrates. Pourtant, il s'agit d'un forage profond (248 m), mais où les calcaires du Dogger ne sont séparés de ceux de l'Oxfordien que par 4 m de marne. En outre, le forage est très ancien ; sa conception n'est pas connue (absence de coupe technique), de même que son état.

Brion est une anomalie : profondément captive, la nappe ne peut être contaminée. Tous les autres paramètres vont à l'encontre d'une telle pollution par des pesticides. Il peut s'agir d'une erreur de saisie à l'origine.

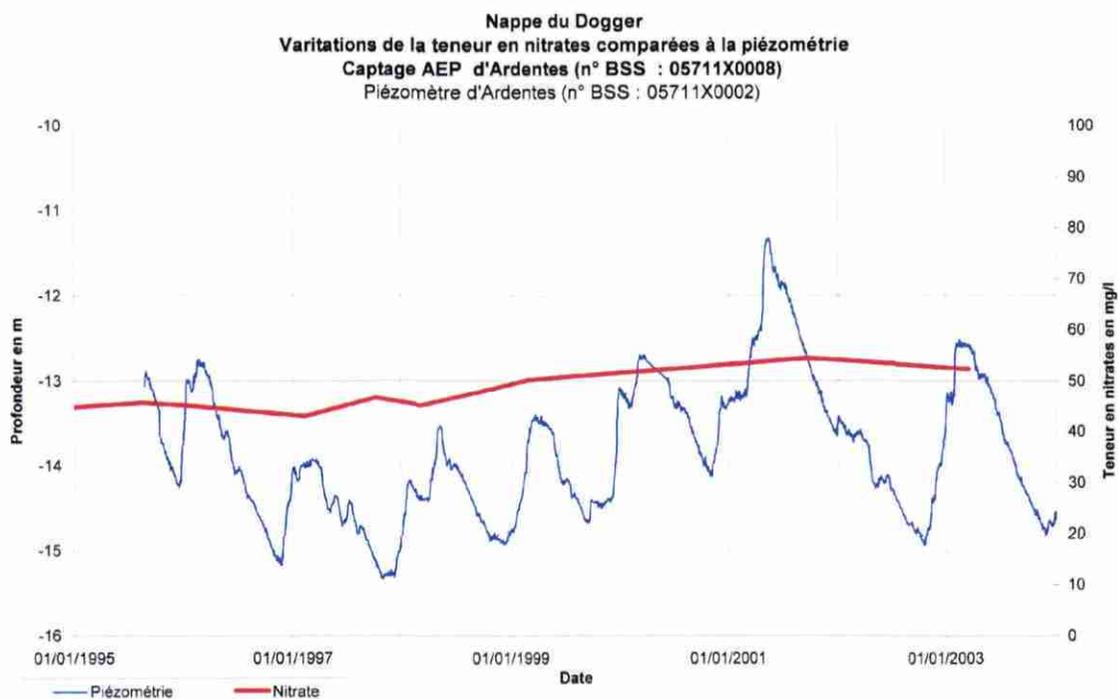
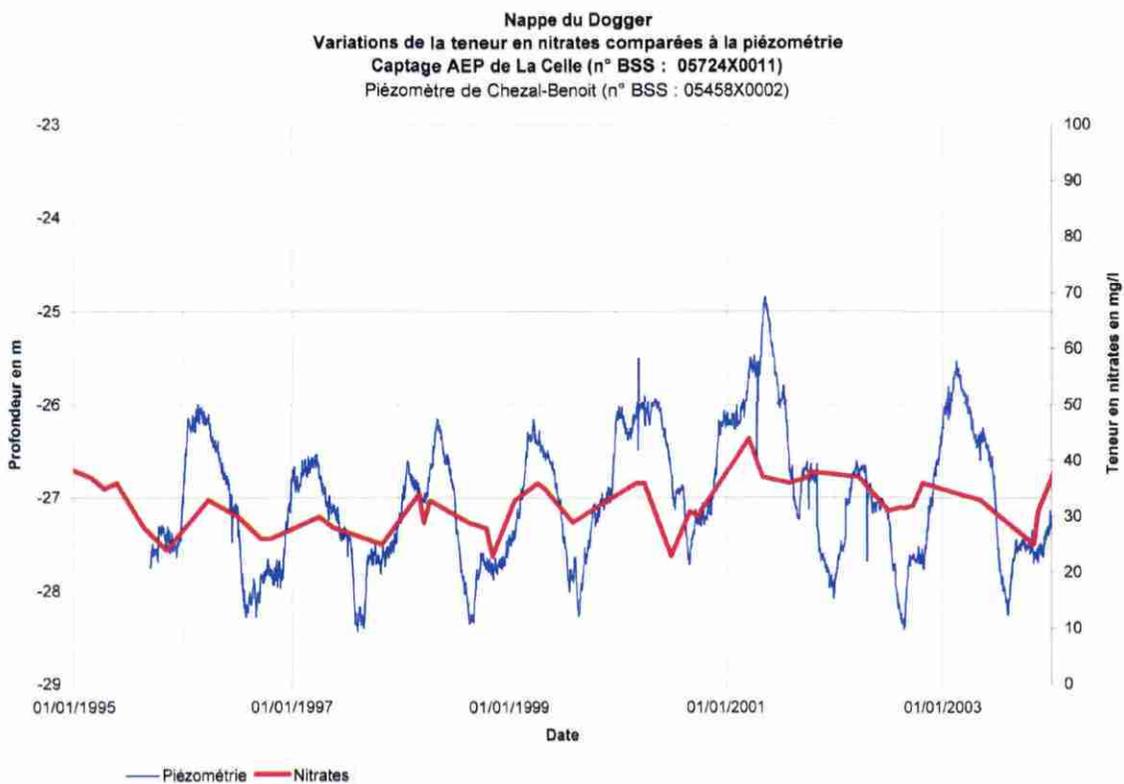


Figure 14 - Variations de la teneur en nitrates comparées à la piézométrie.

6.4.7. Conclusion

L'étude de la pollution de la nappe du Dogger montre le rôle primordial que joue une couverture imperméable ou filtrante, comme la formation de Brenne, d'Ardentes, du Bourbonnais... Les plus fortes teneurs en nitrates correspondent aux domaines où le calcaire est à nu.

Le captage d'Ardentes -qui présente la plus forte contamination- est l'exemple type d'une contamination due aux nombreux points d'absorption situés en amont, en milieu agricole.

La nappe du Dogger est peu ou pas sensible aux fluctuations saisonnières, ce qui est un gage d'absence d'infiltration directe et rapide des produits de surface, et ne présente pas de dégradation croissante de la qualité de l'eau.

Le Dogger est la seule formation réservoir atteinte par forage en domaine captif. La pollution y est rapidement nulle, du fait de la couverture protectrice (Marnes du Callovo-Oxfordien), de la dénitrification naturelle ou plutôt de l'âge certainement ancien des eaux. Mais il faut aussi tenir compte du fait que, en raison des profondeurs atteintes, seules les grosses entreprises, bien outillées, peuvent réaliser correctement les forages ; les malfaçons sont plus rares, mais ce sont des ouvrages coûteux.

6.5. LIAS

Le seul point représentatif sûr est celui de Maisonnais (18), où la teneur en nitrates est inférieure au seuil de détection. Il s'agit d'un forage profond où la couche aquifère est recouverte par une grande épaisseur de terrains compacts.

6.6. ANALYSE STATISTIQUE GLOBALE DES TENEURS EN NITRATES (TITHONIEN, OXFORDIEN, DOGGER, LIAS)

6.6.1. Paramètres statistiques de base

	Dogger	Oxfordien	Lias	Tithonien
Nombre de points	37	85	18	8
Minimum	0,77	0,60	0,00	1,20
1 ^{er} quartile	13,35	17,88	0,60	14,12
Médiane	20,30	42,52	4,12	22,79
3 ^e quartile	28,08	58,06	11,05	31,79
Maximum	63,00	109,10	29,50	45,98
Étendue	62,23	108,50	29,50	44,78
Moyenne	22,10	40,23	7,34	23,07
Écart-type d'échantillon	12,15	24,56	8,71	13,15

Tableau 5 - Paramètres statistiques (en mg/l) des teneurs en nitrates dans le Dogger, l'Oxfordien, le Lias et le Tithonien.

La teneur moyenne en nitrates de l'Oxfordien (40 mg/l avec 85 points) est près de deux fois plus forte que celle calculée dans le Dogger (22 mg/l avec 37 points). La teneur moyenne la plus faible s'observe dans le Lias : 7 mg/l. Pour le Tithonien, la valeur moyenne est du même ordre que celle du Dogger, mais le nombre de points de mesures est peu important.

6.6.2. Représentation graphique

Une représentation du type « boîte à moustaches » (traduction de « *Box & Whiskers Plot* ») permet de synthétiser l'analyse statistique descriptive ci-dessus (fig. 15). Il s'agit d'une représentation graphique qui donne des indications sur la tendance centrale des valeurs, leur variabilité, la symétrie de la distribution et la présence d'*outliers* (valeurs très différentes des autres). Ce type de représentation permet aussi de comparer rapidement plusieurs ensembles de données. Cette représentation graphique a été réalisée avec le logiciel XLSTAT - version 7.5.2 - (société ADdinsoft). L'interprétation est la suivante :

- le premier quartile Q1 correspond au bord inférieur de la boîte ;
- la médiane Q2 correspond à un trait noir ;
- la moyenne correspond à un trait rouge ;
- le troisième quartile Q3 correspond au bord supérieur de la boîte.
- deux intervalles sont définis de part et d'autre des premier et troisième quartiles : $IQ1 = Q1 - 1,5 \times (Q3 - Q1)$, $IQ3 = Q3 + 1,5 \times (Q3 - Q1)$;
- la moustache inférieure du box plot s'étend de Q1 jusqu'à la valeur la plus proche de la borne inférieure de IQ1, en restant à l'intérieur de IQ1 ;
- la moustache supérieure du box plot s'étend de Q3 jusqu'à la valeur la plus proche de la borne supérieure de IQ3, en restant à l'intérieur de IQ3 ;
- les valeurs en deçà de la moustache inférieure et au-delà de la moustache supérieure sont représentées individuellement par des cercles. Ces cercles sont pleins lorsque les valeurs sont au-delà de 3 fois l'écart interquartile ($Q3 - Q1$), et vides s'ils sont situés à l'intérieur de cet intervalle (fig. 15 – Dogger et Lias).

Remarque. Dans la boîte à moustaches, la boîte a pour hauteur la distance interquartile ($Q3-Q1$), et les moustaches sont basées généralement sur 1,5 fois la hauteur de la boîte. Dans ce cas, une valeur est atypique si elle dépasse de 1,5 fois l'écart interquartile au-dessous du 1^{er} quartile ou au-dessus du 3^e quartile. La valeur 1,5 est une valeur pragmatique qui a une raison probabiliste :

- si une variable suit une distribution normale, alors la zone délimitée par la boîte et les moustaches devrait contenir 99,3 % des observations. On ne devrait donc trouver que 0,7 % d'observations atypiques (*outliers*). Si le coefficient vaut 1, la probabilité serait de 0,957 et elle vaudrait 0,999 si le coefficient est égal à 2.
- la valeur 1,5 est donc un compromis pour retenir comme atypiques assez d'observations mais pas trop d'observations.

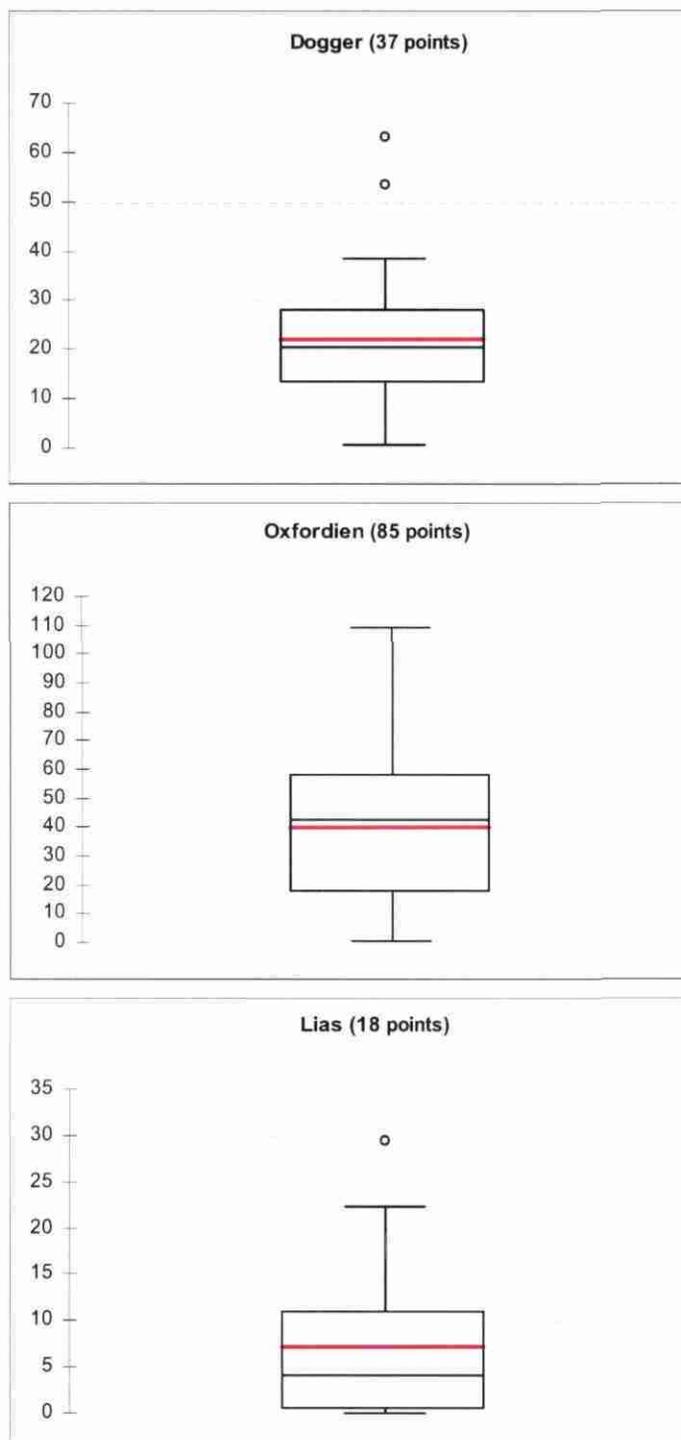


Figure 15 - Représentation sous forme de « Boîtes à moustaches » de l'analyse statistique descriptive des teneurs en nitrates dans le Dogger, l'Oxfordien et le Lias.

7. Conclusion

7.1. TITHONIEN

Les calcaires du Tithonien forment un réservoir aquifère marginal du fait de sa faible extension en affleurement et de sa compacité intrinsèque qui en fait un réservoir peu capacitif. Ce dernier caractère a pour conséquence une saturation apparente en contamination : les historiques ne montrent pas d'évolution sur une longue période ; mais les fluctuations saisonnières sont rapides, ce qui traduit une grande vulnérabilité.

Les résultats acquis montrent que l'environnement relativement boisé explique pour une grande part les plus faibles valeurs de la teneur en nitrates. Graçay et Genouilly (18), situés sur de grandes structures anticlinales favorables à la productivité, sont des exemples où la présence de sites boisés offrent une voie de recherche pour l'alimentation en eau potable.

7.2. OXFORDIEN

Le réservoir dit de « l'Oxfordien » tient son importance de sa grande extension en affleurement et du fait qu'il fournit la seule ressource existante sur la quasi-totalité du domaine couvert par cette formation. Mis à part quelques secteurs vers le sommet de la formation géologique, ce réservoir est très superficiel, discontinu, peu capacitif et sans couverture protectrice. Il correspond aussi aux plus grands domaines de cultures.

Ces conditions entraînent :

- une forte contamination de la nappe par les nitrates et produits phytosanitaires ;
- une grande variabilité de la contamination, avec des réactions très rapides aux évènements et périodes pluvieuses ;
- une absence d'évolution sur de grandes périodes, dans la majorité des cas.

Sur le plan utilisation, les conséquences sont :

- une ressource limitée, ce qui est un facteur restrictif pour l'agriculture ;
- une protection difficile, voire impossible, pour l'alimentation humaine.

Les moyens à mettre en œuvre pour une gestion durable de cette ressource pourraient passer par :

- une gestion quantitative des prélèvements, actuellement partiellement réalisée par le classement en zone de répartition de plusieurs secteurs. Cet aspect concerne principalement l'agriculture, avec les démarches volontaires de gestion volumétrique ;

- la reconquête de la qualité de l'eau, notamment par le développement de mesures en agriculture raisonnée ;
- le traitement complet de l'eau pour l'alimentation humaine (AEP), solution envisageable pour les collectivités importantes ;
- l'abandon des captages AEP et la substitution, soit par une ressource plus profonde, ici limitée (voir conclusion pour le Dogger), soit par une ressource éloignée, ce qui est déjà fait par le SMERSE (captage dans les alluvions de la Loire amont). En effet, les mesures agronomiques prises actuellement, se révèlent insuffisantes pour la reconquête de la qualité de l'eau.

7.3. DOGGER

Les deux principales conclusions sont :

- l'eau du (ou des) réservoir(s) du Dogger est relativement peu contaminée par les activités de surface, du fait de la protection naturelle des calcaires sur la plus grande partie de ses affleurements par les formations détritiques du Tertiaire, imperméables ou filtrantes. Cette protection a aussi comme conséquence de ne pas rendre le réservoir sensible aux fluctuations pluviométriques. C'est une ressource beaucoup plus fiable que celle de l'Oxfordien. Autre conséquence de cette couverture détritique : un plus grand développement des zones forestières, au détriment des surfaces cultivées (Brenne essentiellement), ce qui accentue la relativement bonne qualité de l'eau ;
- le Dogger est actuellement le seul réservoir du Jurassique exploité en domaine captif profond, du fait d'un faciès favorable à l'ouest du Cher ; la ressource est alors exempte de toute pollution. Mais la salinité de l'eau limite ce développement à grande profondeur, principalement sur les zones faillées qui sont justement recherchées pour obtenir une meilleure productivité.

7.4. LIAS

On retrouve les caractéristiques du Tithonien : faible extension en surface, discontinuité accentuée. De plus, l'épaisseur du calcaire est très réduite. Le potentiel aquifère ne peut donc qu'être faible.

Aucun captage public n'est réalisé dans cette formation qui est pratiquement inconnue sur le plan qualité de l'eau. Cette absence d'information est due en grande partie à la présence juste au-dessous du réservoir sableux du Trias à caractère continu et filtrant, donc beaucoup plus fiable. La connaissance du réservoir du Lias passe donc par une exploration soit à partir des forages agricoles existants, soit par de nouveaux forages.

7.5. RELATIONS AVEC L'OCCUPATION DES SOLS

7.5.1. Relations générales

Le rapport de la DIREN de 2003 (Guéry M. et Naudet N.) montre clairement les relations qui existent entre les différents modes d'agriculture et la nature du sol. Ainsi, en Champagne berrichonne, caractérisée par l'extension des formations calcaires, on remarque :

- la correspondance presque parfaite entre les teneurs en nitrates et le domaine des grandes cultures céréalières ;
- la diminution des surfaces enherbées (caractéristique plutôt générale sur la presque totalité des départements) ;
- une augmentation des cultures du maïs dans les zones où le calcaire est à nu (ce qui est le cas général dans le Cher) ; les zones recouvertes par des dépôts tertiaires argilo-sableux présentent au contraire une diminution des surfaces (Sud de l'Indre, Brenne...). Le secteur oriental de Bourges est le plus touché par les cultures du maïs. Et c'est un des secteurs les plus atteints par la pollution par les nitrates ;
- la Champagne berrichonne présente les plus fortes surfaces irrigables dans les deux départements, à de rares exceptions près ;
- de même, cette région présente les plus fortes surfaces drainées, ce qui peut paraître contraire à la nature du sol calcaire. Et ce qui est plus marquant, ces surfaces drainées sont partout en augmentation.

7.5.2. Critique de la méthode

La méthode utilisée ici (rapport de la S.A.U. sur la surface totale de la commune) constitue une première approche destinée à savoir si l'on peut utiliser les données numérisées facilement accessibles. Mais cette démarche est simplifiée, en effet :

- elle ne tient pas compte du sens d'écoulement de la nappe. Des apports sur des cultures placées en aval hydraulique d'un captage n'ont pas d'incidence sur la qualité de l'eau au captage ;
- si un captage se place en limite d'une commune et en amont hydraulique, ce n'est pas le rapport des surfaces de cette commune qui peut influencer sur la teneur en nitrates au captage ;
- la méthode ne tient pas compte du type de culture ni de leurs rotations pluriannuelles.

7.5.3. Résultats

Le graphique (présenté en annexe 9.2) montre une très forte dispersion qui ne peut s'expliquer seulement par les réserves citées précédemment, même si l'on tient compte des captages en nappe captive. Compte tenu des variations très importantes

des résultats des teneurs en nitrates pour un même rapport (SAU/Surface commune) la droite de régression n'est pas significative.

Cette analyse est donc insuffisante. Elle doit être complétée par la prise en compte de nombreux autres facteurs cités dans les analyses précédentes par aquifères : existence et nature d'une couverture protectrice, conception de l'ouvrage. Pour les cas particuliers analysés précédemment, on a vu que l'environnement proche en amont hydraulique est primordial.

8. Bibliographie

8.1. RAPPORTS

(1984) - Inventaire des captages pour l'alimentation en eau potable dans le département de l'Indre. BRGM. n° 84 SGN 020 CEN.

(1987) - Recherche d'eau dans le Dogger au sud de Dun-sur-Auron. BRGM. n° 87 SGN 381 CEN.

(1987) - Syndicat des eaux de la Vallée de l'Abloux : étude hydrogéologique pour la recherche d'eau potable. BRGM. n° 87 SGN 506 CEN.

(1988) - S. I. des Eaux de la Demoiselle (Indre) : recherche complémentaire en eau potable. BRGM. n° 88 SGN 806 CEN.

(1996) - Étude de la vallée de l'Auron. Rapport final. C.A.C.G. (Conseil Général, Agence de l'Eau, DDAF).

Lepiller M., Leclerc B. (1999) - Étude piézométrique et suivi de la qualité chimique des eaux de l'aquifère des calcaires oxfordiens en Champagne berrichonne. Nord-est de Bourges. Opération Azur. Laboratoire d'hydrogéologie. Université d'Orléans.

Martin Ch. (2003) - Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les variations saisonnières des teneurs en nitrates dans les bassins versants agricoles. Approche expérimentale et modélisation. Thèse Université de Rennes 1.

Guéry M. et Naudet N. (2003) - Évolution des modes de production agricole et des risques pour la ressource en eau en région Centre. DIREN-Centre (SEMA). 6 juin 2003.

8.2. NOTICES DE CARTES GÉOLOGIQUES

<i>N° de la carte</i>	<i>Nom de la carte</i>	<i>Auteur</i>	<i>Année</i>
492	Saint-Martin-d'Auxigny	Maget Ph.	1994
493	Sancerre	Desprez N.	1985
494	la Charité-sur-Loire	Comet J.	1997
520	Nérondes	Maget Ph.	1992
521	Nevers	Martins C.	1988
547	Dun-sur-Auron	Maget Ph.	1993
570	Velles	Desprez N.	1990
572	Saint-Amand-Montrond	Maget Ph.	1994
591	la Trimouille	?	1989
592	Bélâbre	Maget Ph.	2000
593	Argenton-sur-Creuse	Maget Ph.	1998