

# Fonctionnement du système karstique du Val d'Orléans : les acquis, les interrogations

François Lelong <sup>(1)</sup>, Nevila Jozja <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Professeur honoraire – 179 rue Hème 45160 Olivet - fclelong@wanadoo.fr

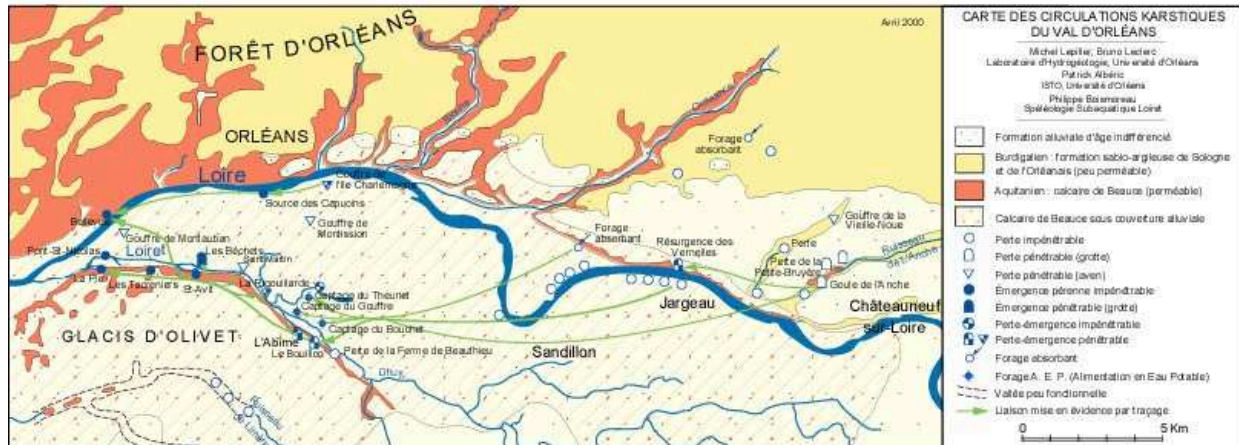
<sup>(2)</sup> Environnement, Traçage et Détection – Polytech'Orléans – 8 rue Léonard de Vinci – 45072  
Orléans cedex 2 – nevila.jozja@univ-orleans.fr

## INTRODUCTION

Ce système étudié depuis longtemps (12 ; 13) est défini par l'ensemble hydrogéologique interactif suivant :

- un tronçon de la Loire et le cours du Loiret ;
- la nappe d'eau souterraine des alluvions de la Loire, dont le lit majeur est fortement élargi à l'amont d'Orléans ;
- l'aquifère des calcaires de Beauce, sous-jacent aux alluvions, en contact direct avec celles-ci dans la partie aval, et séparé des alluvions par les sables et argiles semi-perméables de la formation de Sologne (Burdigalien) dans la partie amont.

Les limites géographiques de ce Val sont claires (figure 1) : le tronçon de plaine alluviale concerné s'étend, sur une longueur de 40 km et une largeur de 4 à 7 km, de la confluence Loire-Loiret, à l'ouest, jusqu'à Sully/Loire, où la plaine alluviale se rétrécit fortement, à l'est. Mais la délimitation du système hydrogéologique est encore sujet de discussion et peut différer selon les auteurs.



Certains limitent le système à tout ou partie de la plaine alluviale ; celle-ci est bordée au nord par le rebord du bas plateau des calcaires de Beauce et au sud par le glacis d'Olivet (vieilles terrasses alluviales) et le coteau de Sologne (formation semi-perméable burdigalienne). Cette délimitation, donnant au système une surface de 140 km<sup>2</sup>, a été utilisée en 1979 par C.Zunino pour bâtir un modèle mathématique de simulation des écoulements souterrains.

J.L. Chéry (4) et E. Livrozet (11) ont étendu le système vers le sud pour y intégrer les apports souterrains du glacis d'Olivet et du coteau de Sologne jusqu'à la crête piézométrique présumée de la nappe phréatique. La limite nord, traité par Zunino (14) comme limite à potentiel imposé par la Loire reste la même. La surface du système atteint alors 400 km<sup>2</sup>.

D'autres auteurs ont pris en compte les flux d'eau qui s'engouffrent rive droite au nord de la Loire (dans le ru de Lanche notamment) et resurgissent au sud-ouest (9 ;12), ce qui augmente encore la surface du système.

La définition plus administrative utilisée par la SAGE « Loiret » prend en compte seulement la rive gauche du Val de Loire mais englobe au sud une large part des communes riveraines. La surface du SAGE, est estimée à 280 Km<sup>2</sup>.

Le principal phénomène à l'origine de ces définitions est l'existence dans le Val de pertes massives de débit de la Loire entre Châteauneuf /Loire et Chécy, sur une vingtaine de kilomètres du cours de ce fleuve : pertes diffuses dans le lit à travers les alluvions récentes ; pertes localisées dans de nombreux gouffres creusés dans le substrat calcaire de ces alluvions, notamment au droit de Jargeau et de Sandillon (*photo*). A ces pertes correspondent des résurgences, elles aussi diffuses ou ponctuelles (gouffres émissifs), tout le long du Loiret, produisant l'essentiel de son débit, et aussi en Loire, à l'aval d'Orléans. Un certain nombre de ces gouffres ont été explorés par les spéléologues, notamment le source du Bouillon, à l'origine du Loiret et la source de l'Abime : le film « Loiret souterrain » réalisé par P. Boimoreau témoigne de la profonde extension des conduits karstiques et du gigantisme de certaines cavités.

Chercher à connaître le fonctionnement de ce système permet de mieux répondre à diverses questions soulevant de forts enjeux : quels débits y transitent, quelle en est la ressource renouvelable, quelles réserves y sont stockées, quelles sont les caractéristiques qualitatives des eaux et leur vulnérabilité aux pollutions, à quels usages peut-il répondre pour les collectivités concernées (la population des communes du SAGE est voisine de 100.000 habitants, mais exclut Orléans dont les principaux captages d'alimentation en eau potable sont pourtant situés sur le territoire du SAGE), quels modes de gestion doit-on envisager pour optimiser l'exploitation durable de cette ressource ? On comprend que les réponses ne sont pas les mêmes selon la définition du système adoptée, en fonction des limites et des conditions hydrauliques aux limites fixées.

Le texte suivant vise à rappeler les principales conclusions des études dont on dispose, en soulignant les convergences des diverses approches et en cherchant à préciser les points encore incertains pouvant faire l'objet de débats et de recherches. Il importe de parvenir à un constat consensuel, de façon à faciliter la gestion collective de la ressource. Pour cela le tableau suivant (tableau 1) résume les bilans hydrologiques publiés, en précisant le cadre spatial et temporel et chaque fois que possible les conditions climatiques ou hydrologiques.

## I. ESQUISSES DE BILANS HYDROLOGIQUES

Ces bilans sont établis à partir de l'équation générale suivante :

Entrées annuelles = sorties annuelles + ou - variations de stocks du système.

Les entrées dans le système hydrologique sont :  $P_e$  = pluies efficaces,  $Q_c$  = apports du coteau de Sologne,  $P_l$  = pertes de la Loire.

Les sorties sont :  $Ex$  = volumes prélevés pour les différents usages,  $Q_l$  = volume écoulé à l'embouchure du Loiret,  $R_l$  = résurgences en Loire à l'aval d'Orléans.

Les variations de stocks correspondent aux fluctuations saisonnières du niveau piézométrique de la nappe alluviale. On sait que l'amplitude annuelle de ces fluctuations est réduite (1 à 2 m au maximum) : ce terme représente, sur un cycle hydrologique, 20 à 40 millions de m<sup>3</sup> par an (pour une surface de 200 km<sup>2</sup> et une porosité utile de 10 %). En considérant des cycles hydrologiques calés sur les fins d'été, ce terme est négligeable au regard des autres.

Tableau 1 : Bilans hydrologiques annuels du système du Val d'Orléans (en millions de m<sup>3</sup>)

Auteur	Conditions	Pe	Qc	Pl	=	Ex	Ql	Rl
Chéry 1983(a)	année humide	74	-	281	=	40	315	-
Livrozet 1984(b)	année humide	106	-	317	=	45	378	-
Gonzalès 1991(c)	année moyenne	(60)	-	(515)	=	(40)	(315)	220
Géohyd 2004(d)	année moyenne	18	-	449	=	10	315	142
Lepiller 2006(e)	année moyenne	27	-	453	=	35	170	275
Cette étude(f)	année moyenne	60	5	485	=	50	200	300

(a) système de 400 km<sup>2</sup>, pluies efficaces Pe de 180 mm au lieu de 150 mm/an en moyenne ;

(b) système de 400 km<sup>2</sup>, pluies très exédentaires (Pe = 265 mm/an) ;

(c) système de 400 km<sup>2</sup>, chiffres entre parenthèses tirés des précédents, recalculés en année moyenne, en tenant compte des résurgences en Loire évaluées par cet auteur ;

(d) système de 140 km<sup>2</sup>, étude préalable à l'établissement du SAGE ; pluies efficaces de 130 mm dont 30 mm ruissellent et 100 mm alimentent le système.

(e) système de 460 km<sup>2</sup>, pluies efficaces de 100 mm, dont 40 ruissellent et 60 mm s'infiltrent.

(f) système de 400 km<sup>2</sup>, année de pluviosité moyenne (150 mm/an); le débit souterrain venant du coteau de Sologne est estimé par la loi de Darcy avec les données suivantes : transmissivité = 0,01 m<sup>2</sup>/s, gradient hydraulique = 0,05 %, largeur du front de nappe 40 km.

Les chiffres de pertes annuelles de la Loire apparaissant en italiques sont déduits de la somme arithmétique des autres termes. Il s'agit de valeurs évaluées « à la louche » étant donné la très forte incertitude sur ces termes. De plus le débit moyen instantané des sorties par le Loiret, qui représente selon ces chiffres environ 10 m<sup>3</sup>/seconde, peut varier selon les années du simple au double; l'incertitude sur les débits de résurgence en Loire, pour lesquels on ne dispose pas de mesure, est encore plus grande. On voit que la mise en évidence d'importants débits de résurgence à l'aval d'Orléans (sources de Bellevue, à La Chapelle St Mesmin notamment) et provenant en partie (7) du système du Val d'Orléans conduit à beaucoup majorer l'importance des pertes de Loire. Celles-ci varieraient donc en valeurs moyennes entre 8 m<sup>3</sup>/seconde et 16 m<sup>3</sup>/seconde. Le volume des entrées latérales dans le système venant de la Loire représenterait ainsi 5 à 10 fois celui des entrées verticales, par les précipitations. L'abondance de la ressource renouvelable est donc exceptionnelle.

Ces fortes valeurs de pertes de Loire sont-elles plausibles ? Le Service Hydrologique Centralisateur du bassin de la Loire a cherché à évaluer ces pertes en comparant les débits écoulés par décades à Châteauneuf/Loire et à Jargeau dans la période 1975-1977. La différence positive entre l'amont et l'aval, indicatrice de ces pertes, serait plus ou moins proportionnelle au débit de Loire :

- pour un débit de 200 m<sup>3</sup>/s, un peu inférieur au module d'écoulement, les pertes seraient dans le fourchette 5 à 9 m<sup>3</sup>/s :

- pour un débit trois fois supérieur au module, elles seraient dans la fourchette 37 à 155 m<sup>3</sup>/s.

D'après Desprez, les pertes cumulées entre Châteauneuf et Combleux pourraient être de 20 à 25 m<sup>3</sup>/s en basses eaux et atteindre 75 m<sup>3</sup>/s en crues. Ces valeurs sont estimées par défaut car de petits affluents existent rive droite (Oussance, Bionne) entre ces deux sites, et avec une marge d'erreur très forte car l'incertitude sur chacun des termes s'ajoute.

Soulignons la très forte valeur du rapport (débit de transit annuel) / (volume de stockage) du système. Sachant que la capacité d'emmagasinement dans le réseau karstique des calcaires sous-jacents aux alluvions est très limitée, ce volume correspond essentiellement au dénoyage de la nappe phréatique contenue dans les alluvions, soit 20 à 40 millions de m<sup>3</sup> par an, d'après l'évaluation indiquée ci-dessus. Cela signifie, en termes hydrogéologiques, un temps de séjour moyen de l'eau relativement très court dans le système, de l'ordre de 1 à 2 mois, et un temps plus court encore dans les drains.

## II. REGIME HYDRODYNAMIQUE

Deux approches ont été tentées : la première par modélisation mathématique, à partir d'un modèle d'écoulement déterministe, en régime d'écoulement permanent correspondant à un débit d'étiage ( $45 \text{ m}^3/\text{s}$ ). La surface du Val ainsi modélisée représente  $140 \text{ km}^2$  du Val ; le système est considéré comme un aquifère unique à double couche à l'aval de Châteauneuf/Loire où ont lieu les pertes, et à l'amont, comme deux aquifères séparés par une couche semi-perméable ( $K \text{ Darcy} = 10^{-5} \text{ m/s}$ ) permettant la circulation de débits verticaux. L'espace est découpé en mailles de  $635 \text{ m}$  de côté. Le meilleur ajustement entre la piézométrie mesurée et calculée est obtenu après 18 phases de calage, en introduisant dans le champ spatial des transmissivités de l'aquifère calcaire des drains extrêmement transmissifs, simulant les chenaux karstiques (figure 2). Les valeurs de transmissivité, hors chenaux, varient de  $0,01$  à  $0,1 \text{ m}^2/\text{s}$  dans la partie aval où l'aquifère des calcaires est en contact direct avec les alluvions, elles sont 10 à 100 fois plus faibles dans la partie amont où cet aquifère est captif. Le débit du Loiret pour le meilleur calage est  $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui pourrait indiquer le très rapide tarissement des volumes stockés dans les alluvions.

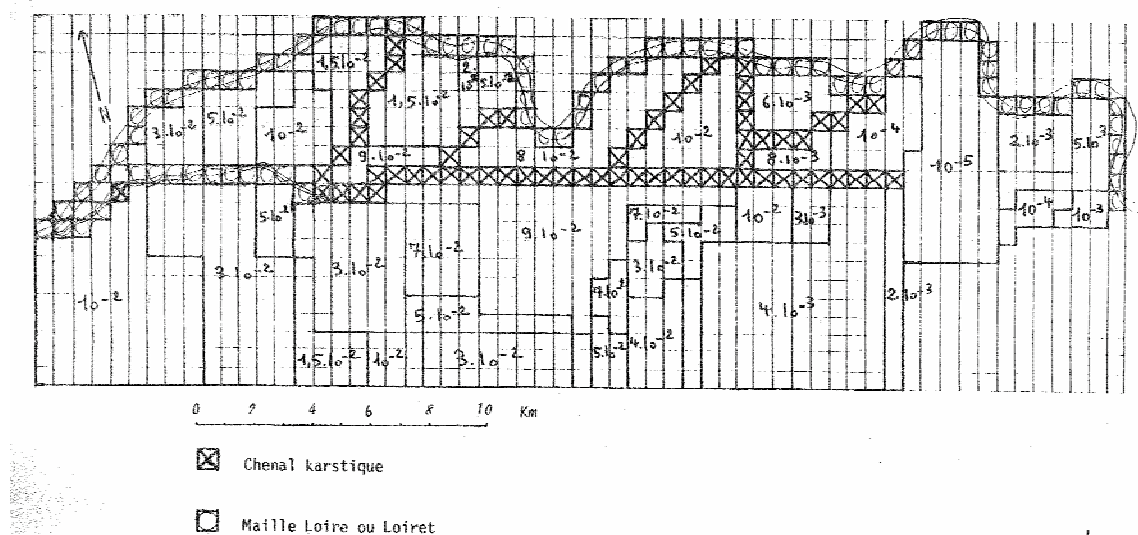


Figure 2. Distribution spatiale des transmissivités de l'aquifère calcaire du Val d'Orléans

L'autre approche poursuivie depuis longtemps (2 ; 9 ; 12) consiste en des traçages, avec des colorants injectés en divers points de pertes, dont l'éventuelle restitution est suivie aux points de résurgence supposés. Cela permet de préciser les limites du système, de caractériser les vitesses d'écoulement le long des drains majeurs, et éventuellement les phénomènes de dispersion dans le flot écoulé.

Les traçages réalisés entre les pertes de Jargeau et les exutoires du système du Val d'Orléans ont permis d'observer des vitesses moyennes de transit assez fortes. Ces vitesses sont peu dépendantes du débit du fleuve. Un accroissement de la vitesse apparente entre l'amont de la zone d'exhaure a été ainsi observé (vitesse apparente. jusqu'à la source du Bouillon:  $100$  à  $140 \text{ m/h}$ ) et l'aval (vitesse apparente. jusqu'à la source de la Pie :  $200 \text{ m/h}$  environ).

Il existe une liaison souterraine directe sous la Loire entre des gouffres absorbants rive droite (pertes de Lanche et du ru de Chenailles, près de Châteauneuf/Loire) et les sources du Loiret. La contribution de ces pertes à l'alimentation du système a été confirmée à trois reprises. Les

traçages réalisés ont montré des vitesses apparentes différentes selon les conditions hydrologiques (68m/h en basses eaux et 142 m/h à hautes eaux) (9).

Divers traçages réalisés à partir de gouffres absorbants (pertes de Jargeau et plan d'eau de l'île Charlemagne) ont donné des restitutions à la source de Bellevue à La Chapelle-Saint-Mesmin (vitesse apparente 79 m/h). Ceci indique l'existence, le long de la Loire, de drains karstiques importants distincts de ceux du Loiret.

Les taux de restitution des traceurs sont généralement très faibles, de l'ordre de 1 % ou moins encore, indice que les masses de colorants injectées sont fortement diluées (apports venant de la nappe alluviale ou, plus probablement, de drains latéraux convergents vers l'émergence) ou encore que la masse d'eau colorée subit des phénomènes de diffifluence (9).

Des traçages ont été également opérés à l'aide de traceurs microbiologiques (3), en injectant des germes bactériens dans les pertes de Jargeau. Ces traceurs migrent de la même manière que les traceurs colorés jusqu'à la source du Bouillon et se retrouvent, quoi qu'en concentration moindre et avec un délai plus long, dans les captages d'eau potable de la Ville d'Orléans, situés à l'écart (à 500 m) du drain karstique.

Le schéma physique décrivant le système peut être représenté par une couche perméable en petit (les alluvions), superposée directement ou non à l'aquifère discontinu des calcaires de Beauce, comportant un réseau de drains plus ou moins anastomosés. La figure 3 représente, dans la partie du Val où l'écran semi-perméable entre les deux couches est absent, la trace des drains principaux, principalement entre Jargeau, la source du Bouillon et les diverses sources échelonnées le long du Loiret d'une part, et entre Sandillon et ces sources d'autre part. On remarque aussi l'existence d'un drain majeur le long de la Loire débouchant vers les émergences de La Chapelle St Mesmin et, sans doute, d'un drain entre les pertes du ru de Limère et l'aval du système.

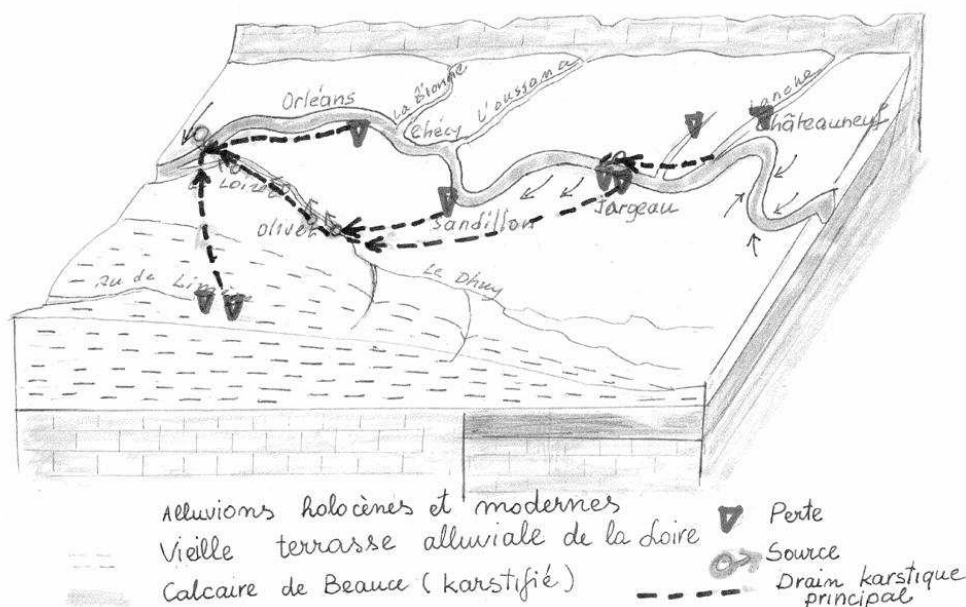


Figure 3. Schéma des circulations karstiques dans le Val d'Orléans

Cette figure esquisse le sens des échanges entre les écoulements de surface et les écoulement souterrains: on voit que la nappe souterraine alimente la Loire (hors crue de celle-ci) à

l'amont du système, que la Loire alimente ensuite l'aquifère entre Jargeau et la boucle de Bou (secteur de Chécy), à l'aval de laquelle les relations entre la Loire et la piézométrie du système aquifère sont complexes, certains regards pouvant tour à tour fonctionner en perte ou en émergences, comme du reste le long du cours du Loiret (1; 9).

La relation entre la cote piézométrique du système aquifère et celle de la ligne d'eau de la Loire varie dans le temps et dans l'espace : au droit d'Orléans, ces cotes fluctuent de façon synchrone, avec la Loire en charge vis-à-vis de la cote de la source du Bouillon, en période de hautes eaux et inversement en période de l'étiage (figure 4). Dans la zone des pertes vers l'amont, la ligne d'eau de la Loire est 4 à 6 m plus haute et le fleuve reste toute l'année en charge sur le système aquifère. Le niveau piézométrique de l'aquifère calcaire et celui de la nappe alluviale sont proches: selon Desprez, l'aquifère calcaire semble généralement un peu en charge vis à vis de la nappe alluviale ; selon Lepiller (9), des mesures à l'aval d'Orléans montrent une cote piézométrique de la nappe alluviale égale ou un peu supérieure à celle de l'aquifère calcaire. On sait que dans les aquifères discontinus, les mesures piézométriques sont délicates à interpréter, car il existe de brusques écarts de niveau dans l'espace et dans le temps, avec de possibles inversions de sens de courant.

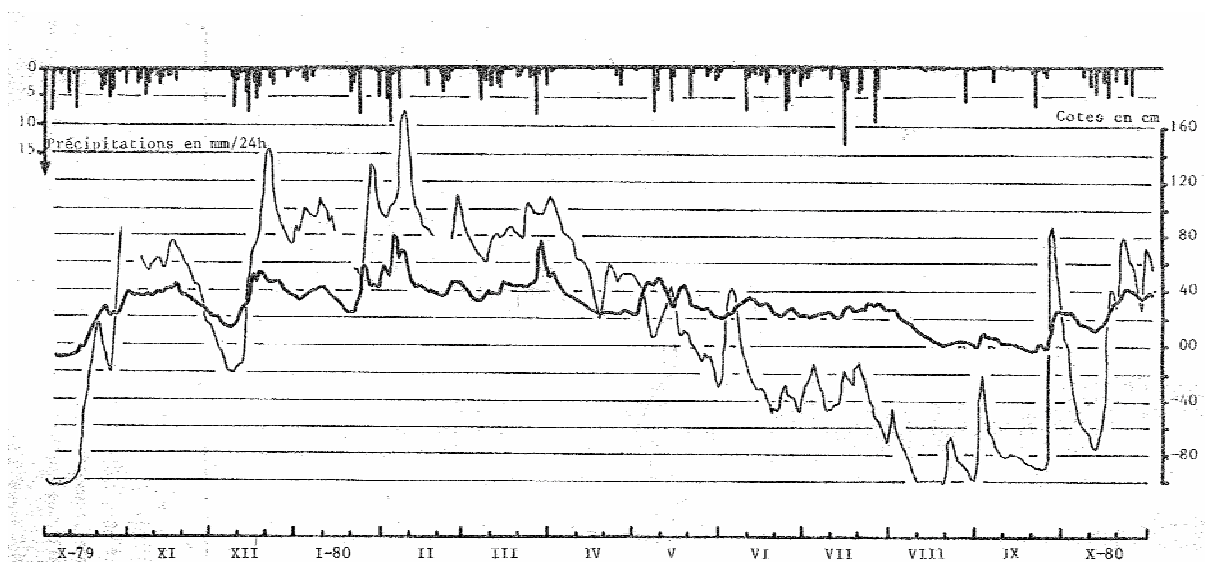


Figure 4 : Cotes de la Loire à Orléans (---) et la source du Bouillon (----) lors du cycle hydrologique 1979-80.

### III. MANIFESTATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES

Les phénomènes physico-chimiques principaux existant lors du transit des eaux de la Loire jusqu'à la source du Bouillon dans le système karstique sont d'après Chéry (4) :

- forte diminution de l'amplitude thermique maximale (16° pour la source du Bouillon contre 24° pour la Loire) ;
- majoration sensible de l'alcalinité et de la teneur en calcium ;
- faible augmentation de l'azote sous forme de nitrate (gain de 1 à 2 mg/l N) ;
- et surtout chute de l'oxygène dissous (3,4 mg/l en moyenne contre 11 mg/l en Loire).

Les mêmes tendances se retrouvent dans l'eau des diverses sources du Loiret, avec une augmentation plus nette des teneurs (nitrate, alcalinité, calcium) pour les sources plus lointaines.



La courbe de distribution de fréquence des valeurs des principaux paramètres (Ca, HCO<sub>3</sub>) n'est pas beaucoup modifiée pendant le transit ; cela peut s'expliquer par la surface et le temps de contact assez réduits entre l'eau issue de la Loire et l'aquifère calcaire. Les faibles teneurs en nitrate semblent dues au fait que les circulations dans le karst sont généralement en charge par rapport à la nappe d'eau alluviale, qui est bien plus polluée que la Loire.

L'évaluation du flux d'ions Ca et HCO<sub>3</sub> entrants (eaux de la Loire) et sortants (source du Bouillon) a permis de chiffrer la masse de carbonate dissoute annuellement dans le système. D'après Chéry (4), pour un volume d'eau de 336 millions de m<sup>3</sup> en transit, le tonnage dissous dans le système karstique serait de 35.450 tonnes, chiffre par défaut, car, aux flux pris en compte par cet auteur, il faut ajouter les flux de pertes résurgent en Loire. Le taux de dissolution spécifique, exprimé en m<sup>3</sup> par an et par unité de volume d'aquifère est extrêmement élevé par rapport à ceux des systèmes karstiques connus, même ceux soumis à des précipitations beaucoup plus intenses. L'origine du CO<sub>2</sub> nécessaire pour cette dissolution ne semble pas provenir du sol, mais résulter de phénomènes internes au système karstique (5).

Les travaux de Livrozet (11) ont permis d'éclairer les phénomènes biogéochimiques intervenant pendant le transit des eaux souterraines. Le suivi hebdomadaire de la source du Bouillon et bi-mensuel de la Loire, pendant un cycle hydrologique complet, des paramètres contrôlés par les réactions microbiologiques (pH, teneur en oxygène, formes de l'azote) confirme les tendances décrites par Chéry et met en évidence :

- une baisse de pH de 0,1 à 0,3 unité en saison froide et de 1,5 unité en saison chaude, entre les pertes de Loire et la résurgence ;
- la disparition presque totale des matières en suspensions, abondantes pendant les crues et pendant les périodes d'eutrophisation de la Loire.

Les germes introduits dans le système se retrouvent dans les captages de la Ville d'Orléans, avec des teneurs certes inférieures à celles trouvées en Loire, mais encore bien au-delà des normes sanitaires, et avec parfois des traces de matières organiques non dégradées, pénalisantes pour le traitement de l'eau. Le comptage des bactéries du cycle de l'azote indique la présence de tous les germes de minéralisation et de dénitrification de l'azote, mais les conditions de température ne favorisent pas leur métabolisme.

La biodégradation des matières organiques et notamment du plancton de Loire introduits dans le karst explique la production de CO<sub>2</sub> nécessaire à la dissolution de l'aquifère calcaire. Le bilan de production de ce composé a pu être établi (5). En outre les réactions biogéochimiques ont pu être simulées *in vitro*, en laissant évoluer, à l'obscurité, de l'eau de Loire dans un fermenteur soumis à une température contrôlée (11) : la figure 5 montre que l'évolution au cours du temps des paramètres physico-chimique correspond bien aux résultats obtenus *in vitro* (figure 5).

En conclusion, les eaux souterraines de ce système karstique sont peu minéralisées, proches de la composition de l'eau de la Loire. Mais la forte demande en oxygène, nécessaire à la biodégradation des matières organiques provoque, notamment lors des épisodes d'eutrophisation de la Loire (6) la quasi-anoxie des eaux résurgentes et en conséquence le bas niveau de leur capacité épuratrice.

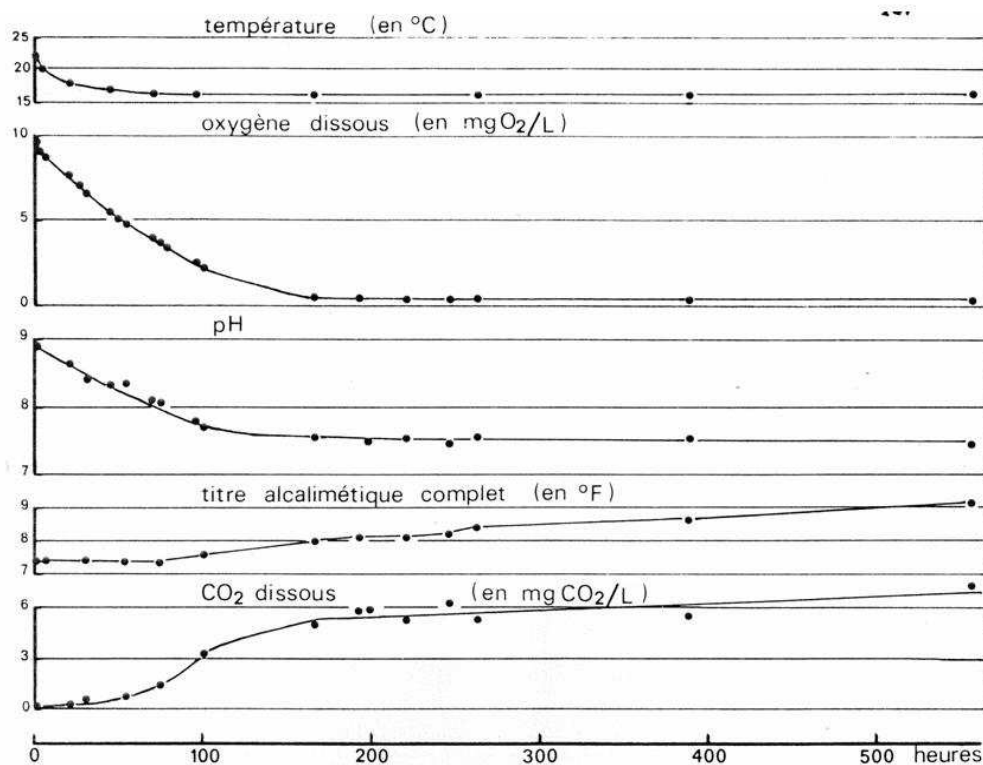


Figure 5. Evolution physico-chimique et chimique des eaux pendant la simulation en période estivale (août 1982).

#### IV. CONSEQUENCES PRATIQUES - PERSPECTIVES

##### *Aspects quantitatifs*

Le potentiel de production de cette ressource karstique, avec une alimentation latérale 5 à 10 fois supérieure aux apports météoriques directs, est remarquable. Cependant ce bilan, apparemment très excédentaire vis-à-vis des besoins actuels ne doit pas faire oublier le tarissement rapide des résurgences lors d'étiages de la Loire. Une augmentation excessive des prélèvements en étiage dans le Val risque d'aggraver la vitesse de tarissement des résurgences et de diminuer le débit du Loiret, avec des conséquences sur l'envasement et la dilution des polluants. Une gestion rigoureuse de cette ressource visant à encadrer les attributions de prélèvement en fonction de la sévérité des étiages sera sans doute nécessaire.

##### *Aspects qualitatifs*

Du point de vue qualitatif, le système karstique est très fortement vulnérable, dans sa partie libre où l'aquifère communique directement avec la nappe alluviale. Le poids de la Loire dans son alimentation exige un contrôle continu de la qualité des eaux du fleuve et le recours à une solution immédiate de secours en cas d'accident polluant grave sur le fleuve. En outre, les activités et installations de surface existantes sur le Val (grandes cultures et cultures maraichères, pépinières, serres, industries agro-alimentaires) créent une pression polluante importante. Le pouvoir de filtration et d'épuration de cet aquifère est très faible, voire inexistant : les pollutions chimiques et microbiologiques peuvent s'y propager avec des vitesses très rapides. En outre les émissaires qui drainent la plaine alluviale et débouchent via le Dhuy dans le Loiret près de la source, apportent à ce cours d'eau fragile des masses



importantes de matières en suspension, de fertilisants et de produits phytosanitaires qui provoquent son envasement et entraînent son déclassement écologique.

#### *Les interrogations*

Malgré des travaux avancés sur le système karstique du Val d'Orléans, la délimitation précise du système reste mal connue : à l'est vers l'amont du Val et au sud la situation de la crête piézométrique de l'aquifère des calcaires de Beauce.

Un traçage réalisé par Lepiller et Jozja, en novembre 2003 à partir d'un forage agricole à Ouvrouer-les-Champs a confirmé que le drainage karstique s'étendait vers l'est, au moins jusqu'au pied du talus piézométrique résultant du soutien de la nappe des alluvions par le Burdigalien argilo-sableux. Il serait particulièrement indiqué de rechercher l'existence d'une éventuelle karstification sous le Burdigalien, entre ce talus piézométrique et la Loire par la réalisation de traçages à partir de forages au calcaire de Beauce.

Aussi l'hydrométrie des affluents de rive droite de la Loire est mal connue. L'hydrogéologie des systèmes de l'Oussance et de la Bionne, qui comportent plusieurs pertes sur leur bassin versant, ou celui de leurs affluents est à préciser à l'aide de traçages.

Sous le glacis d'Olivet, la question de la contribution des pertes de deux systèmes hydrologiques superficiels issus de la formation de Sologne (les ruisseaux de Limère et de Baule) à l'alimentation du système karstique du Val d'Orléans n'a pu être tranchée malgré la réalisation, en 1981 et 1985, de trois traçages (4, 7). Les traçages des ruisseaux de Limère et de Baule seraient donc à envisager en période de crue avec une surveillance des émergences du Clouseau, de la Pie, de l'Abîme à Mézières-lès-Cléry, des Eaux-Bleues à Cléry-Saint-André et du forage artésien de la Petite Qualité à Dry.

#### **Références bibliographiques**

- (1) **Albéric P.**, 2001- L'inversac (perte-émergence) de la résurgence du Bouillon (source du Loiret, France). Sci. Tech. Envir., Mém. H.S. n° 13, p1-4.
- (2) **Albinet M. et Brossier G.**, 1973- Expérience de coloration dans le Val d'Orléans. BRGM SGN 095 AME.
- (3) **Chatelain S. et Livrozet E.** 1982- Impacts de apports de Loire sur la qualité des eaux du système karstique des calcaires de Brauce du Val d'Orléans. II Aspects bactériologiques. Ann. Sci. Univ. Besançon, Mem. N° 1 p. 65-75.
- (4) **Chéry J.L.**, 1983- Etude hydrochimique d'un aquifère karstique alimenté par perte de cours d'eau (la Loire)- Thèse Doct.3° cycle, Univ. Orléans.
- (5) **Chéry J.L., Lelong F. et Lepiller M.** 1982- Impacts des apports de la Loire la qualité des eaux du système karstique des calcaires de Beauce sous le Val d'Orléans. Ann. Sci. Univ. Besançon, Mém. N° 1 p.47 à 63.
- (6) **Crouzet P.**, 1981- L'azote, facteur de pollution et d'eutrophisation. C.R. XXVI° Congr. Nat., Assoc. fr. de Limnologie, juin 1981.
- (7) **Gonzalès R.**1991 – Etude de l'organisation et évaluation des échanges entre le Loire moyenne et l'aquifère des calcaires de Beauce.Thèse Doc. Sci. Terre, Univ. Orléans
- Déprez N. (1976- Etude hydrogéologique. Val d'Orléans. BRGM, DGRST 67, A21.
- (8) **Lelong F et Lepiller M.**, 1981- Le système karstique du Val d'Orléans. Esquisse de fonctionnement hydrodynamique. Comm. 26° Coll. Nat. De Limnologie ; Orléans, juin 1981.
- (9) **Lepiller M.** 1996- Guide de l'excursion AIH, 1996, Orléans.
- (10) **Lepiller M.**2006- Aquifères et eaux souterraines de France, Tome 1, III, 6. Val d'Orléans.Edition BRGM, p. 200 à 214.
- (11) **Livrozet E.** 1984- Influence des apports de la Loire sur la qualité bactériologique et chimique de l'aquifère karstique du Val d'Orléans. Thèse Doc.3° cycle, Univ. Orléans.

- (12) **Marboutin F.** 1901 et 1902- Etudes hydrologiques, Mission Val d'Orléans. Commission scientifique de l'Observatoire municipal de Monsouris.
- (13) **Sainjon H.** 1888- La Loire, le Loiret et les courants souterrains du Val d'Orléans.
- (14) **Zunino C.** 1979- Contribution à l'étude hydrogéologique du Val d'Orléans. Etablissement d'un modèle mathématique de simulation de nappe. Thèse Doc. Spéc. Univ. Orléans.