

Projet Individuel :
Les bases géochimiques de la qualité des eaux de la Loire



[Loire à Gien – Photo : C. Martin]

- Mars 2011 -

Emma Païusco

Professeur encadrant : Matthias WANTZEN

Remerciements

Je tiens à remercier Monsieur Matthias WANTZEN, Professeur à l'Université François Rabelais de Tours, et tuteur de ce projet individuel, pour l'aide et les conseils concernant la problématique évoquée dans ce rapport, qu'il m'a apporté.



Sommaire

<i>Résumé</i>	4
<i>Abstract</i>	4
Introduction	6
I. Présentation des caractéristiques de la Loire et de son Bassin Versant	6
<i>I. 1. Contexte général de la Loire</i>	6
<i>I. 2. La géologie du bassin ligérien</i>	10
<i>I. 3. Sectorisation géomorphologique de la Loire</i>	12
<i>I. 4. La méthodologie de l'étude</i>	14
II. Evolution de la qualité des eaux de la Loire d'amont en aval	15
<i>II. 1. La physico-chimie</i>	16
<i>II. 2. Les nutriments</i>	19
<i>II. 3. Les cations et anions inorganiques</i>	23
<i>II. 4. Les acides humiques</i>	26
<i>II. 5. Conclusion</i>	28
III. L'influence des affluents sur la qualité des eaux de la Loire	28
<i>III. 1. L'Allier</i>	28
<i>III. 2. Le Cher et l'Indre</i>	29
<i>III. 3. La Vienne</i>	30
<i>III. 4. La Mayenne</i>	32
<i>III. 5. Conclusion</i>	33
IV. Evolution temporelle de la qualité des eaux de la Loire de 1981 à 2010 à La Possonnière et Montjean-sur-Loire	34
V. Conclusion	38
Bibliographie	39
Table des matières	41



Résumé

S'écoulant sur un bassin versant grand comme un cinquième du territoire Français, la Loire draine des terrains à la géologie très diversifiée. Avec la récente prise de conscience sur l'importance de la protection des milieux naturels, et l'évolution des normes de qualité pour l'adduction en eau potable de nos régions, des questions se posent : quels sont les principaux facteurs qui induisent à la Loire sa qualité physico-chimique ? Est-ce que la géologie du bassin versant, l'occupation de son sol ou les affluents de la Loire, impactent la composition de l'eau ? En étudiant l'évolution de quelques paramètres déterminants sur plusieurs années le long de la Loire et de ses affluents, des liens pourront être établis entre la nature géologique des sols, l'occupation du territoire et la qualité chimique des eaux du plus grand fleuve Français.

Mots clés : Loire – géologie – affluents – substrat – occupation du sol – physico-chimie de l'eau

Abstract

4

Flowing over a watershed as large as one fifth of the French territory, the Loire drains land which have very diverse geology. With the recent awareness of the importance of protecting natural habitats, and the evolution of quality standards for drinking water supply in our regions, questions arise : what are the main factors that lead to the Loire its physico-chemical? Is the watershed's geology, the occupation of its soil or tributaries of the Loire, which have impact on the water composition?

By studying the evolution of some key parameters over several years along the Loire and its tributaries, links may be established between the geological nature of soils, land use and chemical quality of waters of the largest French river.

Keywords: Loire - geology - tributaries - substrate - land - physical chemistry of water



Liste tableaux et figures

Figure 1 : La Loire sur la France [Source : http://www.za.univ-nantes.fr/zal/]	7
Figure 2 : Débits moyens mensuels (m^3/s) de la Loire à Cours-les-Barres depuis 45 ans	8
Figure 3 : Débits moyens mensuels (m^3/s) de la Loire à St Nazaire depuis 16 ans	8
Figure 4 : La Loire et ses affluents [Source : http://www.francebalade.com/valdeloire/]	9
Figure 5 : Zoom sur carte géologique de la France [source : cosmovisions.com]	11
Figure 6 : stations d'analyse choisies pour l'étude [Source : google Earth]	14
Figure 7 : graphique des concentrations moyennes annuelles en M.E.S. de la Loire entre 2000 et 2009	17
Figure 8 : graphique des moyennes annuelles de la concentration en oxygène dissous dans la Loire (2000/2010)	18
Figure 9 : graphique des moyennes annuelles de la DBO5 de la Loire (2000/2009)	18
Figure 10 : Graphique des moyennes annuelles d' NH_4 dans la Loire (2000/2010)	19
Figure 11 : Graphique des moyennes annuelles d'Azote Kjeldahl dans la Loire (2000/2010)	20
Figure 12 : Graphique des moyennes annuelles de Nitrates dans la Loire (2000/2010)	21
Figure 13 : Graphique des moyennes annuelles de Nitrites dans la Loire (2000/2010)	21
Figure 14 : Graphique des moyennes annuelles d'Orthophosphates dans la Loire (2000/2010)	22
Figure 15 : Graphique des moyennes annuelles en Phosphore total dans la Loire (2000/2010)	23
Figure 16 : Graphique des moyennes annuelles de Carbonates dans la Loire (2001/2010)	24
Figure 17 : Graphique des moyennes annuelles de Bicarbonates dans la Loire (2000/2010)	24
Figure 18 : Graphique des moyennes annuelles de Chlorures dans la Loire (2000/2010)	25
Figure 19 : Graphique des moyennes annuelles de Sulfates dans la Loire (2001/2010)	26
Figure 20 : Graphique des moyennes annuelles de Calcium dans la Loire (2000/2010)	27
Figure 21 : Graphique des moyennes annuelles de Magnésium dans la Loire (2000/2010)	27
Tableau 1 : Valeurs moyennes entre 2001 et 2010 de 6 paramètres sur des stations de la Loire et de l'Allier	29
Tableau 2 : Valeurs moyennes entre 2001 et 2010 de 5 paramètres sur des stations de la Loire, du Cher et de l'Indre	30
Tableau 3 : Valeurs moyennes entre 2001 et 2010 de 8 paramètres sur des stations de la Loire et de la Vienne	31
Figure 22 : Bec de Vienne, zone où les eaux de la Vienne et la Loire se rencontrent avant de se mélanger progressivement plus en aval. [Source : google image].	32
Tableau 4 : Valeurs moyennes entre 2001 et 2010 de 6 paramètres sur des stations de la Loire et de la Mayenne	33
Figure 23 : débits moyens annuels à Montjean-sur-Loire (entre 1981 et 2010) [Source : Banque Hydro]	34
Figure 24 : Graphique des moyennes annuelles de Sulfates, Calcium, Chlorures et Nitrates dans la Loire à Montjean-sur-Loire et La Possonnière (1981/2010)	35
Figure 25 : Graphique des moyennes annuelles de Phosphore total et Nitrites dans la Loire à Montjean-sur-Loire et La Possonnière (1981/2010)	36



Introduction

Dans le cadre de la dernière année de master IMACOF, il est demandé de réaliser un mémoire individuel, tentant de répondre à une problématique précise, qui est ici la suivante :

« Est-ce que la qualité physico-chimique des eaux de la Loire est influencée par la géologie de son bassin versant, ainsi que par les affluents ? »

Le présent rapport traite dans un premier temps du contexte géologique et morphologique du bassin versant de la Loire ce qui permettra, en fonction des différentes caractéristiques observées, de définir une méthodologie pour tenter de répondre à la problématique posée. Le rapport s'axe ensuite sur l'étude de différents paramètres physico-chimiques le long du fleuve, étalés sur plusieurs années de relevés. Dans un troisième temps, il développe les principales caractéristiques des affluents majeurs de la Loire, en tentant de voir s'ils ont une influence sur la chimie des eaux du fleuve. Enfin, dans une dernière partie, le rapport présentera l'évolution de la qualité physico-chimique de la Loire, dans la partie aval de son cours, sur ces trente dernières années, pour définir si l'occupation du sol de son bassin versant a un impact sur la qualité des eaux.

6

I. Présentation des caractéristiques de la Loire et de son Bassin Versant

Cette première partie a pour but de présenter globalement la Loire et son bassin versant. S'écoulant sur plus de 1000 kilomètres, il est nécessaire de connaître son parcours pour comprendre la qualité physico-chimique de ces eaux, qui est, par hypothèse, en étroite relation avec l'occupation du sol de son territoire.

I. 1. Contexte général de la Loire

Prenant sa source au Mont-Gerbier-de-Jonc en Ardèche, la Loire draine un bassin versant d'environ 117000 km², soit l'équivalent d'un cinquième de la superficie de la France (cf. figure 1). Elle traverse une grande partie du pays, aux paysages variés, son bassin versant drainant un peu moins d'une dizaine de régions différentes. Il est habité par plus huit millions d'habitants, et



le cours de la Loire lui même bordé par plus de quatre millions d'habitants. C'est une densité plus faible que sur le reste du pays, mais cela engendre tout de même des pressions d'origines anthropiques sur le fleuve et ses affluents. En effet, on retrouve de grandes agglomérations sur ce territoire, comme Tours, Orléans, Angers ou St Etienne. De plus, de nombreuses activités agricoles occupent une grande partie du bassin versant.

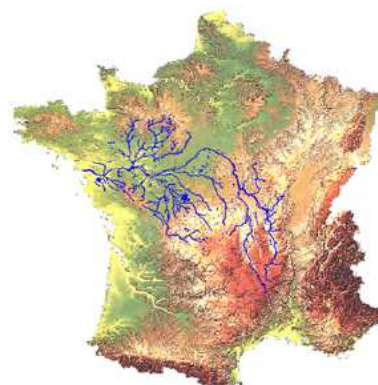


Figure 1 : La Loire sur la France [Source : <http://www.za.univ-nantes.fr/zal/>]

Sur un espace aussi si vaste, l'Etablissement Public Loire (créé en 1983) contribue à la cohésion des actions mises en place sur l'ensemble du bassin. Le Plan Loire Grandeur Nature, décidé par le gouvernement en 1994, et prolongé par le Programme Interrégional Loire Grandeur Nature en 1999, définit les orientations prioritaires de la gestion du bassin :

- ✓ la prévention des inondations
 - ✓ la Recherche/Données/Information
 - ✓ la gestion des ressources en eau stratégique des ouvrages de Naussac et Villerest
 - ✓ l'aménagement et la gestion des eaux, en lien avec les Commissions Locales de l'Eau.
-
- Hydrologie

Le régime hydrologique de la Loire est irrégulier. Les influences climatiques qu'elle subit (méditerranéennes et atlantiques) peuvent lui faire connaître de fortes crues, mais l'absence de neiges éternelles et le substrat imperméable d'une partie de son bassin, lui font avoir des étiages sévères. Depuis sa source jusqu'au Bec d'Allier, la Loire a un régime pluvio-nival, soutenu par des petits affluents qui lui confèrent un débit important. L'Allier qui présente des caractéristiques géographiques similaires, apporte à la Loire 45% de son débit. La figure 2 reporte les débits moyens mensuels de la Loire à Cours-les-Barres, après la confluence avec l'Allier.





Figure 2 : Débits moyens mensuels (m^3/s) de la Loire à Cours-les-Barres depuis 45 ans
[Source : banque Hydro, Station K4000010]

A partir de là, la Loire ne connaît quasiment pas d'apports sur 300 kilomètres, jusqu'à sa confluence avec le Cher, suivi de près par l'Indre et la Vienne, puis par la Maine. Ces affluents lui apportent un module moyen dans la partie la plus aval de $870 m^3/s$. A l'estuaire, les débits moyens mensuels de la Loire sont reportés dans la figure 3.

La variabilité du régime hydrologique de la Loire et de ses affluents est accentuée par les nombreuses extractions de matériaux dans son lit mineur qui ont entraîné des changements de la hauteur de la ligne d'eau.

Enfin, la plupart des lacs du bassin ligérien sont artificiels, la majorité étant des retenues hydroélectriques, ou bien des retenues de régulation de débits (pour le soutien d'étiage notamment) qui sont concentrées essentiellement sur les têtes de bassin (dans les régions Auvergne et Limousin).



Figure 3 : Débits moyens mensuels (m^3/s) de la Loire à St Nazaire depuis 16 ans
[Source : banque Hydro, Station M8420010]



- Les affluents

Avec une centaine d'affluents 'principaux', la Loire draine un bassin versant à la géologie très variée. Chacune de ces rivières, s'écoule sur une vallée particulière avec un substrat et une occupation du sol qui lui sont propres. Tous ces affluents comportent des caractéristiques physico-chimiques spécifiques, qu'ils viendront mêler aux eaux de la Loire (voir figure 4).

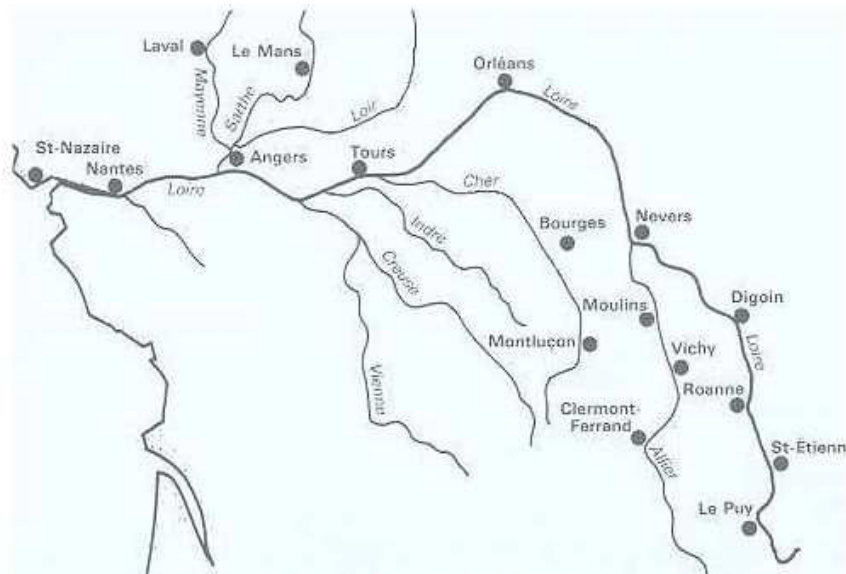


Figure 4 : La Loire et ses affluents [Source : <http://www.francebalade.com/valdeloire/>]

Dans le cadre de cette étude, cinq affluents ont été retenus : l'Allier, le Cher, l'Indre, la Vienne et la Mayenne. Malgré la faible distance entre les confluences du Cher, de l'Indre et de la Vienne avec la Loire (soixantaine de kilomètres environ), ces trois affluents sont importants à prendre en compte puisqu'ils viennent quasiment doubler le débit de la Loire. On parle du 'carrefour potamique de Tours' [BARRAUD R., CARCAUD N., DAVODEAU H., MONTEMBault D.- Géosciences n°12, 2010]. De plus, leur chimie est influencée par des sources limousines, ils présentent donc des caractéristiques différentes de la Loire.

✓ L'Allier est le principal affluent de la Loire avec ses 425 kilomètres de linéaire (contre 460 km pour la Loire à leur confluence). Il est caractérisé par des affluents qui drainent une partie de la Limagne, et subit donc des pressions agricoles.



✓ Avec plus de 360 kilomètres de long, le Cher est également un affluent important de la Loire. Il traverse deux zones géologiques distinctes : des roches cristallines et cristallophylliennes imperméables en amont, et des terrains sédimentaires à l'aval. L'occupation du sol de sa partie aval est principalement agricole.

✓ Prenant sa source à 486 mètres d'altitude dans les piedmonts du Massif Central, l'Indre s'écoule sur 276 kilomètres. Cette rivière traverse globalement les mêmes couches géologiques que le Cher. Une des particularités de l'Indre est que son bassin versant est de forme très étroite, ce qui le rend très dangereux lors d'épisode orageux, où le temps de concentration est faible (phénomènes de 'crues éclair').

✓ Originaire du 'Plateau des milles vaches' dans le limousin, la Vienne draine un bassin versant de plus de 21100 km², avec ces 362 kilomètres de linéaire. Elle s'écoule dans sa partie amont sur des roches imperméables (granites, gneiss et micaschistes), puis sur des formations sédimentaires argilo-sableuses dans la partie aval, ainsi que des sols calcaires. L'occupation du sol de la partie aval du bassin versant est majoritairement agricole (environ 70%) ce qui peut être la cause de pollutions diffuses et ponctuelles.

✓ Seul affluent majeur de la Loire en rive gauche, la Maine est principalement caractérisée par les eaux de la Mayenne. Cette dernière est située sur les contreforts du massif armoricain, et la totalité du bassin se trouve majoritairement sur des schistes et granites. L'occupation du sol de son bassin versant est très marquée par la présence de l'Homme, avec notamment de fortes pressions agricoles.

I. 2. La géologie du bassin ligérien

Etonnamment, la Loire ne s'écoule pas au milieu de son bassin. À l'exception de la Maine qui vient grossir la Loire à Angers, on ne trouve en rive droite que quelques petits affluents venus du Vivarais, du Charolais et du Morvan. [NEHLIG P. – Géosciences n°12, 2010]. Et pour cause, la géologie du bassin ligérien a beaucoup évolué depuis sa formation. Des longs processus géologiques, comme la convection du manteau terrestre, les forces tectoniques ou encore l'érosion, sont à l'origine de l'ensemble de cet espace aux substrats très diversifiés.



D'amont en aval, la Loire draine trois régions géologiques distinctes : le Massif Central, le Bassin Parisien et le Massif Armoricain. C'est-à-dire qu'elle s'écoule sur des terrains plutôt cristallins dans les Massifs Central et Armorica, mais aussi sur des terrains sédimentaires d'âge paléozoïque en Anjou, sur du jurassique dans le Berry, en Bourgogne et dans le Poitou, sur du crétacé en Touraine et enfin, sur du cénozoïque dans la région Centre (cf. figure 5).

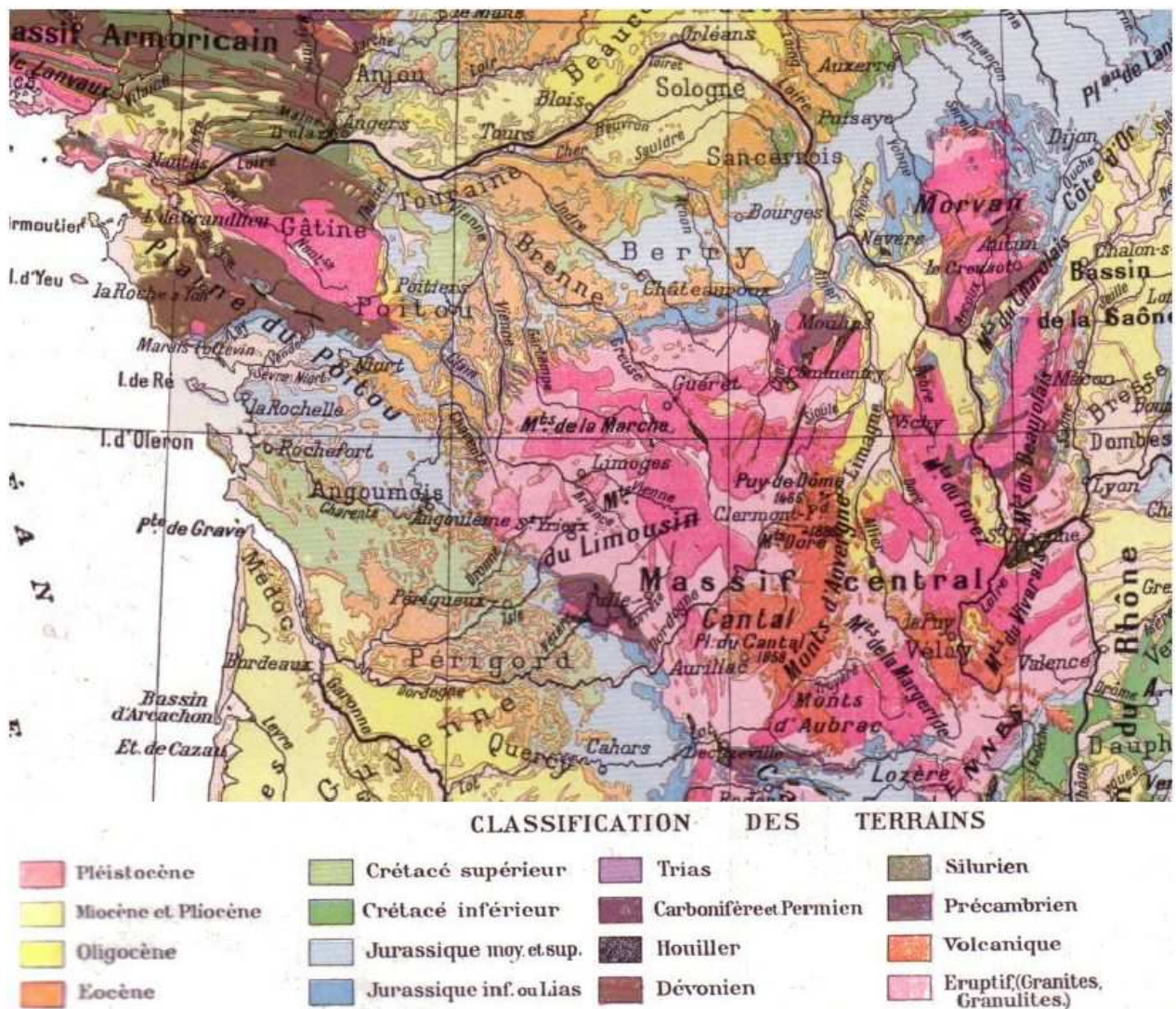


Figure 5 : Zoom sur carte géologique de la France [source : cosmovisions.com]



Cette complexité dans la géologie du bassin versant explique la diversité des paysages que l'on peut observer le long de la Loire. En s'écoulant sur autant de substrats différents, on peut émettre l'hypothèse que la physico-chimie de ses eaux présente des variations d'amont en aval.

I. 3. Sectorisation géomorphologique de la Loire

Plusieurs auteurs ont tenté de sectoriser la Loire en entités géographiques similaires d'amont en aval. Par exemple, l'Etablissement Public Loire [*Etude monographique des fleuves et grandes rivières de France* - Décembre 2003] distingue cinq zones :

- ✓ Milieux et paysages montagnards (de la source jusqu'à la confluence avec l'Allier)
- ✓ Vallées alluviales peu aménagées (jusqu'à Gien)
- ✓ Val de Loire, vallée endiguée (jusqu'aux environs de Saumur)
- ✓ Vallées de plaines (Vienne, Loir...) où l'on retrouve beaucoup d'élevages, cultures...
- ✓ L'estuaire

12

Selon l'ouvrage 'La Loire, vallées et vals du grand fleuve sauvage' (BOUCHARDY, 2002), on retrouve ce découpage sectoriel de la Loire, plus affiné et plus détaillé, qui se base sur des éléments géomorphologique du fleuve. Cela permet de décrire huit unités avec des spécificités de dynamique fluviale similaires.

- Secteur 1 : La Loire supérieure
 - De la source au barrage de Grangent (2) :

C'est une zone de gorges relativement profondes. L'activité morphodynamique du fleuve est relativement faible, mais l'on peut malgré tout observer des indices de transport solide encore actifs.

- De Grangent à Villerest (2) :

C'est une zone où l'Homme a beaucoup utilisé le fleuve, notamment pour l'extraction de granulats. La dynamique du cours d'eau est ici quasi-inexistante, le débit étant



totallement géré par l'Homme. De plus la partie aval de cette unité a le fonctionnement d'un plan d'eau artificiel, puisqu'elle est occupée par le barrage de Villerest.

- Secteur 2 : La Loire amont

- De Villerest au bec d'Allier (3) :

C'est ce que l'on appelle le « val libre ». La dynamique fluviale peut être très puissante dans les zones qui n'ont pas été aménagées par l'Homme.

- Secteur 3 : La Loire Moyenne

- Du bec d'Allier    Bonny sur Loire (4) :

Dans cette zone, la Loire connaît ces premières traversées sur un substrat calcaire. C'est aussi une zone très intéressante dans la dynamique fluviale puisque l'on observe de nombreux bancs alluviaux mobiles, des îlots boisés plus stables ainsi que des chenaux multiples et divagants.

- De Bonny sur Loire    Blois (5) :

Ici la Loire draine une unité géologique constituée des épandages sablo-argileux du Massif Central.

- De Blois aux Ponts de C   (6) :

Dans cette zone, la Loire traverse à nouveau des plateaux calcaires, à faible relief. La dynamique fluviale y est intéressante puisque l'on y observe de nombreuses   les et bancs alluviaux.

- Secteur 4 : La Loire aval

- Des Ponts de C      Couëron (7) :

Dans ce secteur, et jusqu'à l'estuaire, la Loire s'écoule sur un socle hercynien qui constitue l'essentiel du Massif Armoricaïn. Ici, on considère que jusqu'aux Ponts-de-C   la Loire a encore un caractère fluvial.



- De Couëron à St Nazaire (③) : l'estuaire

C'est la zone estuarienne de la Loire, où les processus biologiques et physiques des fonctionnements fluvial et maritime du fleuve se mélangent.

Grâce à l'identification de ces différents secteurs et unités, le choix des stations d'analyse de l'eau pourra être en cohérence avec la problématique posée.

I. 4. La méthodologie de l'étude

Dans le but de savoir si la nature du substrat du lit de la Loire et de son bassin versant a un impact sur la composition chimique de l'eau, onze stations d'analyse ont été choisies le long du fleuve, parmi la centaine de points de contrôle régulièrement analysés par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (cf. Figure 6). De plus, sur chacun des cinq affluents choisis, une station d'analyse a également été utilisée dans cette étude.

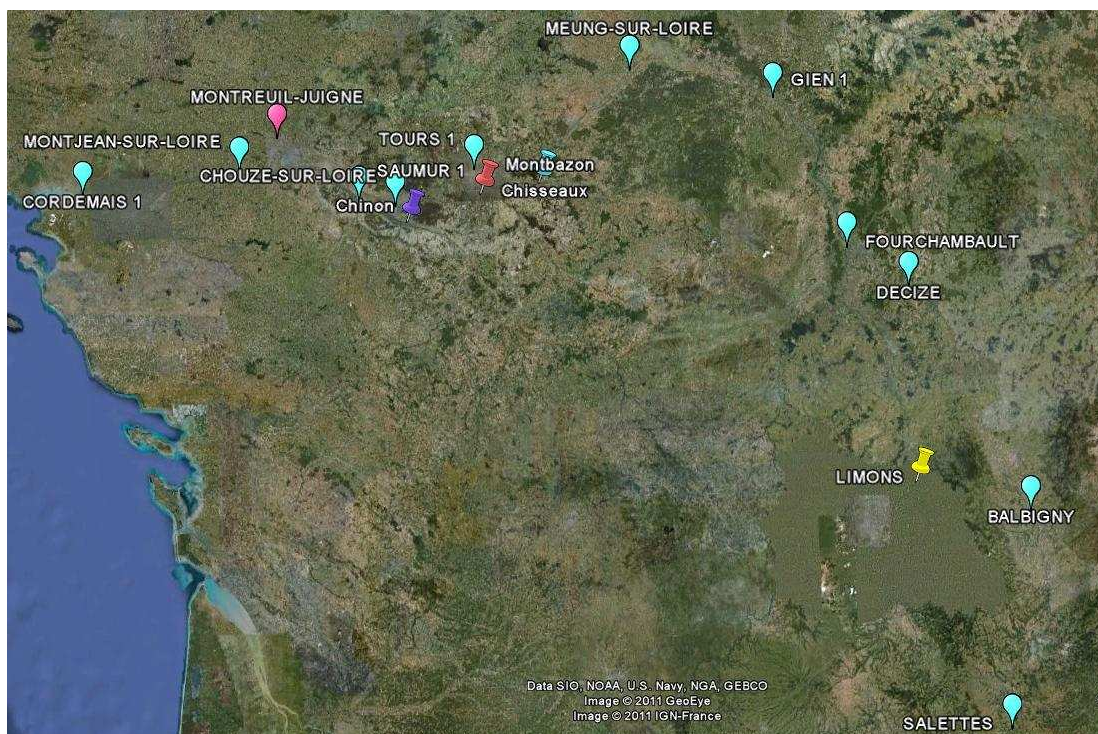


Figure 6 : stations d'analyse choisies pour l'étude [Source : google Earth]



Les onze stations sur la Loire sont situées sur les huit différentes unités décrites dans le paragraphe précédent, et permettent également de voir l'éventuel impact sur la qualité de l'eau généré par les principaux affluents.

La station de Salettes se trouve à une trentaine de kilomètres de la source de la Loire, à Sainte-Eulalie. Etant localisée dans l'unité (1) en zone de montagnes et de gorges, elle témoigne de la faible anthropisation du secteur. La station de Balbigny se situe quand à elle dans l'unité (2), quelques kilomètres en amont du barrage de Villereest. Une dizaine de kilomètres avant la confluence avec l'Allier, se trouve la station de Decize. Située dans l'unité (3), elle témoigne la zone nommée « val libre ». L'unité (4) où la Loire draine les premières terrasses calcaires et où l'Allier mêle son débit à celui du fleuve, est représentée par la station de Fourchambault. Vient ensuite l'unité (5) marquée par la station de Gien, où la Loire s'écoule sur les épandages sablo-argileux du Massif Central. Cette unité longue de 166 kilomètres comporte une seconde station, à Meung-sur-Loire. La Loire poursuit son cours dans l'unité (6) en traversant à nouveau des plateaux calcaires. La station de Tours se situe dans cette zone, ainsi que celles de Chouzé-sur-Loire et Saumur, qui permettent de voir l'influence des affluents Cher, Indre et Vienne. Après la confluence avec la Maine, la Loire se trouve dans l'unité (7) caractérisée par la station de Montjean-sur-Loire. Enfin, l'unité (8) correspondant à l'estuaire est représentée par la station d'analyse de Cordemais.

II. Evolution de la qualité des eaux de la Loire d'amont en aval

Cette partie propose d'étudier différentes caractéristiques physico-chimiques de la Loire, de chaque unité à travers les onze stations décrites précédemment, étalées sur les dix dernières années mesures.



II. 1. La physico-chimie

- pH

Le potentiel hydrogène d'une eau reflète l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) dans celle-ci. Sur les stations étudiées entre 2000 et 2010, le pH de la Loire varie toujours entre des valeurs de 7,5 et à 8,5, qui traduisent une neutralité de l'eau. Cela témoigne d'une bonne productivité biologique du fleuve, et même si les valeurs fluctuent d'année en année sur toutes les stations, ce paramètre reste globalement stationnaire d'amont en aval de la Loire.

On peut juste noter que de Gien à Chouzé-sur-Loire le pH a tendance à légèrement augmenter, ce qui pourrait être lié à la traversée des plateaux calcaires qui augmenteraient la basicité de l'eau.

- Conductivité

La conductivité est un paramètre qui permet de rendre compte de la minéralisation d'une eau. Elle s'exprime en micro-Siemens par centimètre ($\mu S/cm$). Sur toutes les stations étudiées pendant les dix années, les valeurs observées sur la Loire sont très correctes, mis à part pour la station de Cordemais qui a des valeurs très élevées (aux alentours de $3000 \mu S/cm$) de part l'intrusion de l'eau de mer dans l'estuaire. En effet la salinité fait considérablement augmenter la conductivité.

On remarque une minéralisation progressive des eaux de la Loire d'amont en aval. A Salettes, l'eau est très peu minéralisée ($60 \mu S/cm$ en moyenne), ce qui correspond bien à ce que l'on peut trouver en tête de bassin versant. Plus la Loire avance vers l'aval et plus la conductivité augmente (de 200 à $350 \mu S/cm$), ce qui peut s'expliquer par les activités humaines, mais aussi par le chargement naturel de l'eau en minéraux. La petite diminution de ce paramètre après Balbigny peut être liée au barrage de Villerest, qui crée une retenue d'environ 30 kilomètres, ce qui permet la précipitation des particules minérales, et ainsi de diminuer la conductivité.

- Matières en Suspension (M.E.S.)

La quantité de matières en suspension correspond à l'ensemble des particules, organiques ou minérales, qui ne sont pas dissoutes dans l'eau. Elles reflètent notamment le ruissellement des



eaux de pluie sur le bassin versant, qui entraînent avec elles des particules fines. On remarque que sur la Loire supérieure le taux de M.E.S. est très faible, puis il augmente considérablement au niveau de Decize et Fourchambault, stations où la dynamique fluviale d'érosion et de transport sédimentaire est la plus importante.

Puis la concentration de M.E.S. décroît en Loire moyenne (cf. figure 7), endiguée et un peu moins intéressante géomorphologiquement. On remarque tout de même des variations annuelles pour chaque station : cela est à mettre en relation avec l'hydrologie et la pluviométrie de relative à chaque année. Enfin, à l'estuaire ce taux est très important (jusqu'à 830 mg/L), de part l'intrusion des eaux marines, mais aussi de part la présence d'un bouchon vaseux.

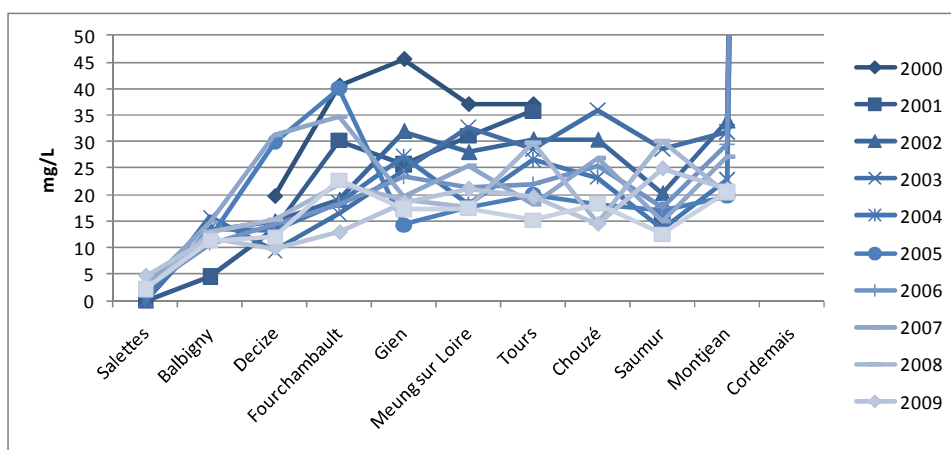


Figure 7 : graphique des concentrations moyennes annuelles en M.E.S. de la Loire entre 2000 et 2009

- Oxygène dissous

La quantité d'oxygène dissous dans l'eau renseigne, entre autres, sur l'aération du cours d'eau et elle dépend de nombreux paramètres, comme par exemple l'ensoleillement, la température ou encore la présence de matières organiques dégradables. L'oxygène dissous est également un indicateur de l'activité biologique, plus particulièrement de la photosynthèse et permet d'évaluer les capacités auto épuratoire de la rivière. En dessous de 6 à 3 mg/L, la vie de la faune et la flore aquatique est mise en péril.

On peut observer sur la Loire que la quantité d'oxygène dissous est globalement constante d'amont en aval (cf. figure 8). Mais au cours des onze années de mesure, on peut voir que ce



taux présente des variabilités entre chaque année. Ceci peut notamment s'expliquer par les différences d'hydrologie ou de température.

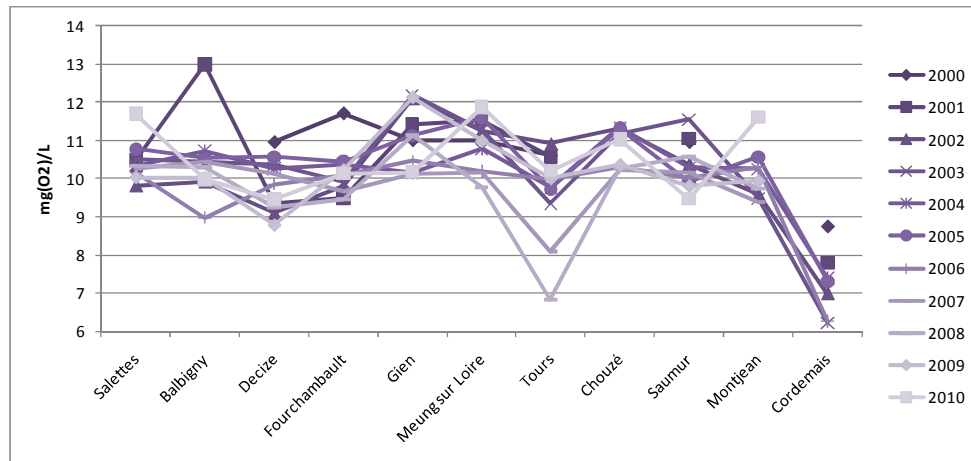


Figure 8 : graphique des moyennes annuelles de la concentration en oxygène dissous dans la Loire (2000/2010)

- DBO5

La demande biochimique en oxygène (à 5 jours) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques d'une eau avec le concours des microorganismes présents dans le milieu. C'est un bon indicateur de la concentration de l'eau en matières organiques biodégradables et donc de la pollution de l'eau.

On peut voir sur la figure 9 que ce paramètre est très variable dans le temps sur les différentes stations, notamment en Loire moyenne. Les fortes valeurs observées dans ce secteur peuvent s'expliquer par la présence d'agglomérations importantes qui génèrent des rejets, mais aussi par les activités agricoles aux alentours qui épandent, entre autres, du lisier. Ces teneurs diminuent ensuite, probablement grâce au processus d'autoépuration de l'eau.

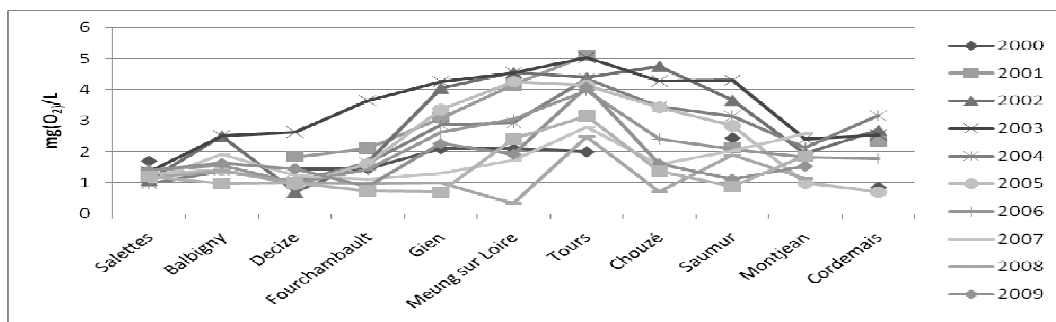


Figure 9 : graphique des moyennes annuelles de la DBO5 de la Loire (2000/2009)



II. 2. Les nutriments

- L'Azote
 - Ammonium (NH₄⁺)

Le azote ammoniacal est un élément présent dans les milieux aquatiques riches en matières organiques en décomposition. La principale source d'ammonium est anthropique, comme les effluents domestiques, ou le ruissellement urbain ou agricole. Il demeure cependant des sources naturelles d'azote ammoniacal qui sont : les échanges gazeux avec l'atmosphère, les transformations chimiques et biochimiques des substances azotées organiques et inorganiques dans les sols et dans l'eau, ou encore l'excrétion d'ammoniaque par le biote (déchet de végétaux de culture et d'animaux). A partir d'une concentration de 2 mg/L de NH₄, il devient un élément toxique pour les milieux aquatiques.

La Loire présente des valeurs en ammonium en constante augmentation d'amont en aval (cf. figure 10). A l'exception de Balbigny où les concentrations sont très importantes chaque année. Ceci peut s'expliquer par une forte pression agricole du secteur, ainsi que par la présence de la retenue d'eau où l'ammonium ne peut pas se dégrader facilement.

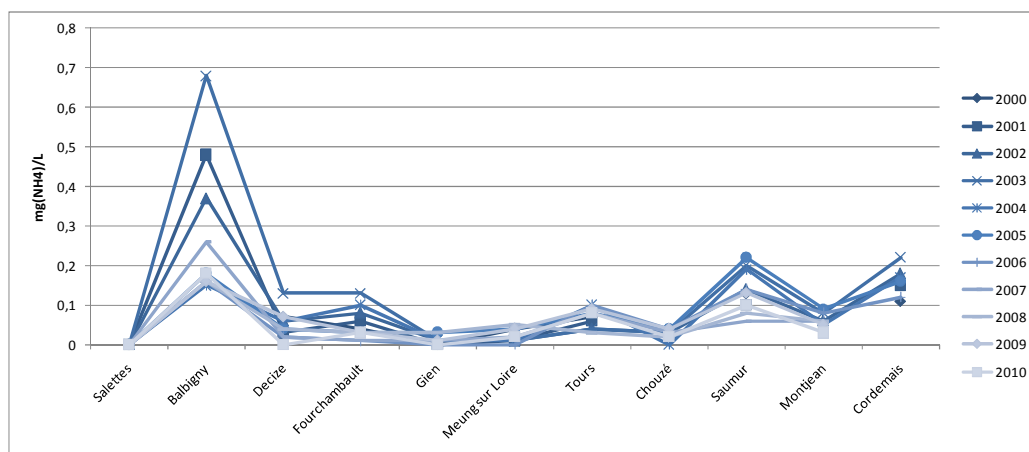


Figure 10 : Graphique des moyennes annuelles d'NH₄ dans la Loire (2000/2010)

- Azote Kjeldahl

L'azote Kjeldahl représente les formes réduites de l'azote (soit l'azote organique et l'azote ammoniacal) disponibles dans l'eau. Il reflète la décomposition des déchets organiques et



anthropiques, et est souvent caractéristique des eaux usées. On peut voir que sur la Loire il est en constante augmentation d'amont en aval (cf. figure 11), avec notamment des taux plus importants à proximité des grandes agglomérations. Les faibles teneurs en azote Kjédahl dans la partie amont du fleuve témoignent de pressions anthropiques moins intenses que dans la partie aval du cours.

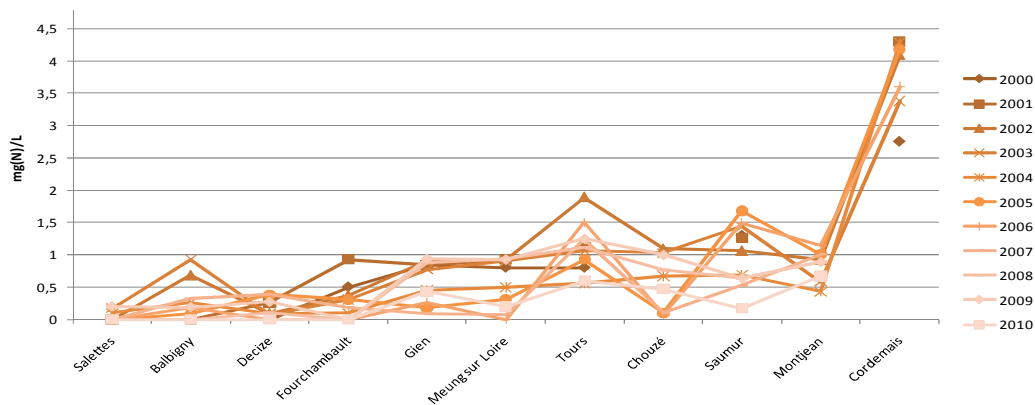


Figure 11 : Graphique des moyennes annuelles d'Azote Kjédahl dans la Loire (2000/2010)

○ Nitrates

Les nitrates sont issus de la dégradation de l'azote ammoniacal (évolution en nitrites, puis en nitrates). Leurs origines peuvent être très diverses : minéralisation de la matière organique, de l'engrais azoté, du fumier, des eaux usées domestiques et/ou industrielles. Ils sont donc un bon indicateur de l'activité agricole. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux en nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux.

Sur la Loire, on observe sur la figure 12 qu'à la station de Salettes, la concentration est très faible, synonyme d'une anthropisation limitée. Puis elle augmente progressivement en allant vers l'aval. Le pic observé à Saumur peut être liée à un rejet provenant de la ville ou bien à un apport excessif de la Vienne. Ces nitrates peuvent également provenir de nappes souterraines 'contaminées' du bassin, car dans cette zone le substrat est perméable.



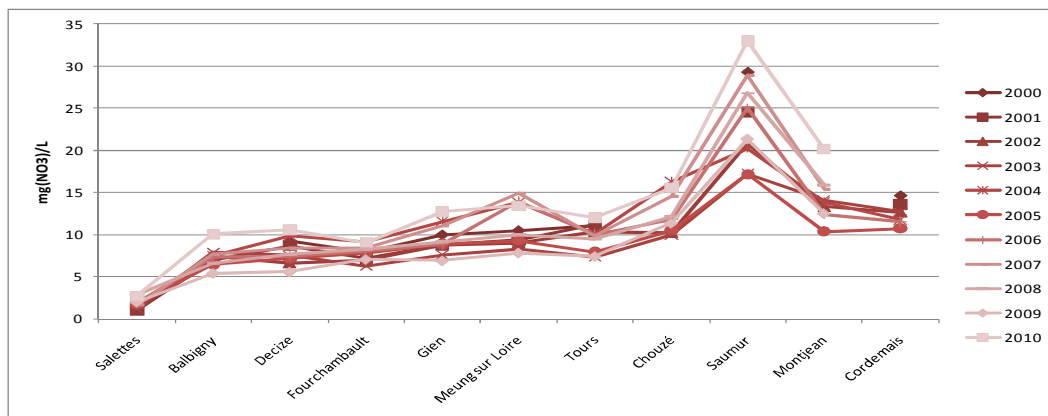


Figure 12 : Graphique des moyennes annuelles de Nitrates dans la Loire (2000/2010)

○ Nitrites

Les nitrites sont une forme moins oxydée et moins stable de l'azote. Ce sont des produits intermédiaires de la nitrification de l'ammonium. Dans les eaux non polluées, il n'y a pas (ou très peu) de nitrites, et dans les zones où l'autoépuration est active, cette teneur se maintient autour de 0,01 mg/l. Ils sont rarement d'origine naturelle, et témoignent des activités anthropiques. Sur la Loire on remarque deux points où la concentration en nitrites est plus élevée que sur le reste du cours : à Balbigny et Saumur (cf. figure 13). Cela coïncide avec les teneurs en ammonium étudiées précédemment, on l'on peut donc penser que les nitrites sont issus du processus de nitrification de l'azote ammoniacal.

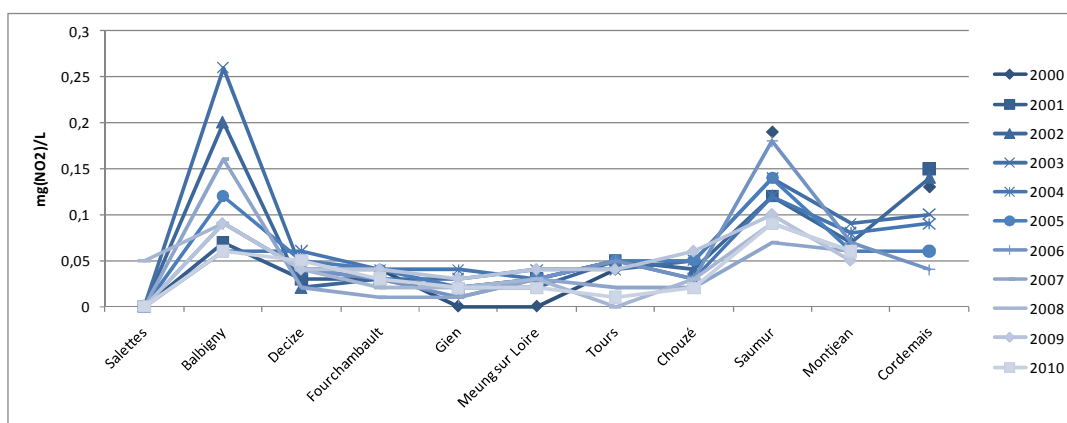


Figure 13 : Graphique des moyennes annuelles de Nitrites dans la Loire (2000/2010)



- Le Phosphore
 - Orthophosphates

C'est une forme ionisée du phosphore, qui est assimilable par les plantes. C'est un élément nutritif essentiel au métabolisme des organismes. L'origine des phosphates peut être naturelle par le lessivage des sols, ou la décomposition de la matière organique, ou bien elle peut être d'origine anthropique par les engrais, les détergents, ou l'industrie chimique par exemple. Les orthophosphates sont souvent la cause des phénomènes d'eutrophisation des cours d'eau et plans d'eau.

Sur la Loire, Balbigny présente des teneurs importantes en orthophosphates, qui peuvent être liées aux extractions de matériaux dans les lits mineur et majeur de la Loire, ainsi qu'à une probable forte pression agricole. Puis le taux d'orthophosphates diminue jusqu'à Meung-sur-Loire, certainement dû à l'absence d'affluents dans cette zone (cf. figure 14). En effet, à Tours sur les stations en aval, les teneurs en orthophosphates sont plus élevées, ce qui peut être lié à l'occupation agricole des sols des rivières affluentes.

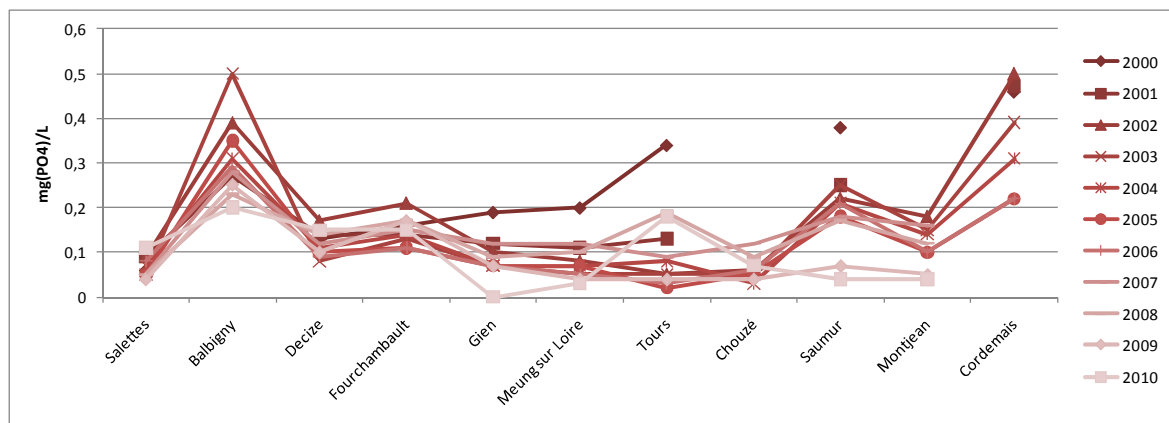


Figure 14 : Graphique des moyennes annuelles d'Orthophosphates dans la Loire (2000/2010)

- Phosphore total

Le phosphore présent dans les eaux de surface provient principalement des rejets urbains, ainsi que du lessivage et ruissellement des terres agricoles. C'est un élément nutritif essentiel à la croissance des végétaux. Toutefois, au-delà d'une certaine concentration et lorsque les



conditions sont favorables, il peut être à l'origine d'une croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques.

Les teneurs en phosphore total sur l'ensemble du cours de la Loire sont relativement constantes, excepté à proximité des grandes agglomérations où les rejets urbains peuvent être la cause d'une augmentation (cf. figure 15).

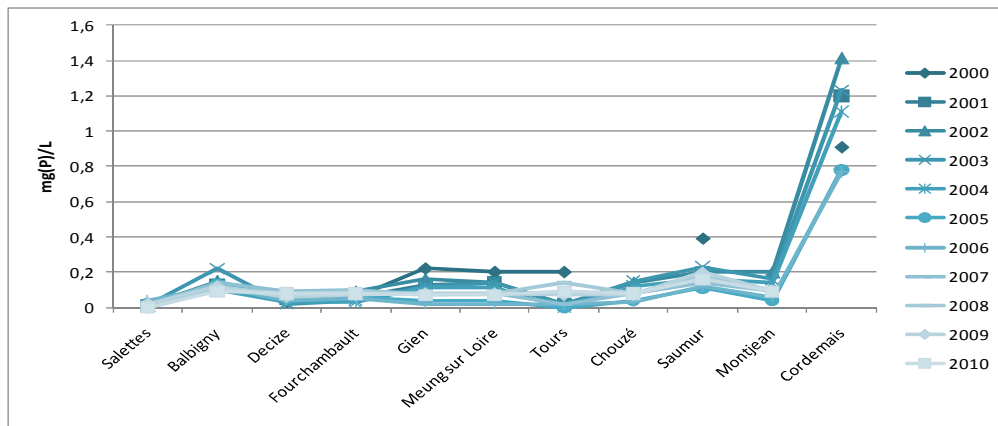


Figure 15 : Graphique des moyennes annuelles en Phosphore total dans la Loire (2000/2010)

II. 3. Les cations et anions inorganiques

- Carbonates

L'eau contient naturellement des éléments minéraux mais les carbonates représentent une très grande part des roches sédimentaires et ils sont presque exclusivement d'origine biogénique (sous le contrôle des organismes vivants). On remarque que sur la Loire les teneurs en carbonates sont très faibles jusqu'à Fourchambault (cf. figure 16), et qu'à partir du moment où elle s'écoule sur les plateaux calcaires, la concentration augmente. Celle-ci varie au fil des années, dépendant des conditions extérieures telles que l'hydrologie, ou l'ensoleillement par exemple. Ces teneurs étant très variables au cours des années, il est possible que ces carbonates soit d'origine souterraine, grâce à des échanges entre la Loire et son aquifère. Ces processus sont fréquents dans le sens aquifère-cours d'eau lors d'épisodes de sécheresse, comme en 2003 par exemple.



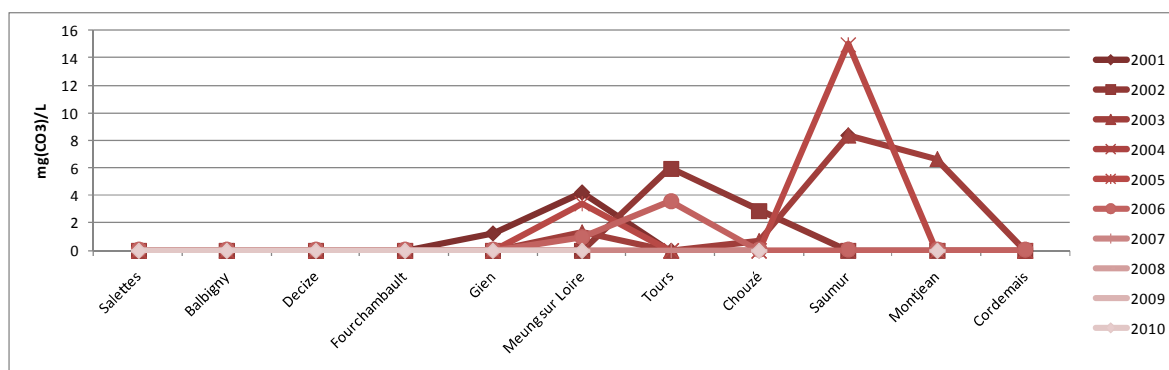


Figure 16 : Graphique des moyennes annuelles de Carbonates dans la Loire (2001/2010)

- Bicarbonates

Les bicarbonates des eaux de rivière proviennent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanations du magma profond. Les teneurs en bicarbonates de la Loire augmentent progressivement d'amont en aval. Alors que la station de Saumur se trouve sur la même unité géomorphologique que Chouzé-sur-Loire et Tours, la concentration de cet élément est divisée par deux. Au niveau de la confluence avec la Vienne le lit de la Loire s'élargit considérablement, pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. Cela augmente l'ensoleillement du cours, et crée des zones de 'calme' importantes permettant un réchauffement de l'eau : c'est une condition favorable à la précipitation de la calcite. Il se peut également que la centrale nucléaire d'Avoine génère un réchauffement des eaux et favorise d'autant plus ce processus (cf. figure 17).

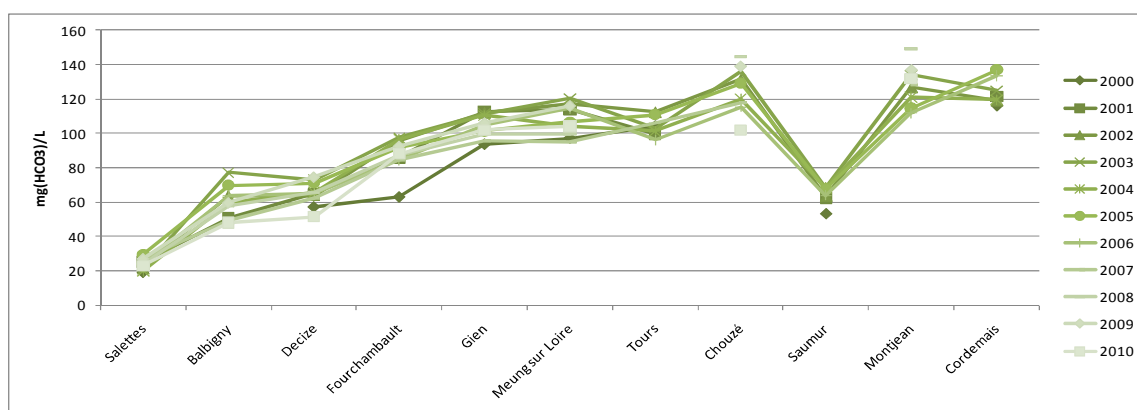


Figure 17 : Graphique des moyennes annuelles de Bicarbonates dans la Loire (2000/2010)



- Chlorures

La concentration en chlorures dans une eau dépend de la nature du terrain qu'elle traverse, mais aussi des activités humaines. Les chlorures donnent généralement une indication sur le degré d'eutrophisation des cours d'eau, et une concentration excessive de chlorures est la plupart du temps due à une pollution urbaine.

L'amont de la Loire semble exempt de cette pression, et aux environs de Balbigny la teneur en chlorures augmente considérablement (cf. figure 18). La concentration en chlorures se stabilise ensuite jusqu'à Saumur où elle accroit encore. Cela peut être lié aux activités d'extraction de graviers dans cette zone amont, ainsi qu'à la géologie du bassin versant qui évolue et devient de plus en plus sédimentaire¹ vers l'aval.

De plus, les fluctuations annuelles des teneurs en chlorures observées pour chaque station peuvent s'expliquer par les variations hydrologiques. En effet, si le débit est faible les apports d'eaux souterraines seront importants et minéralisés, et inversement pour des forts débits.

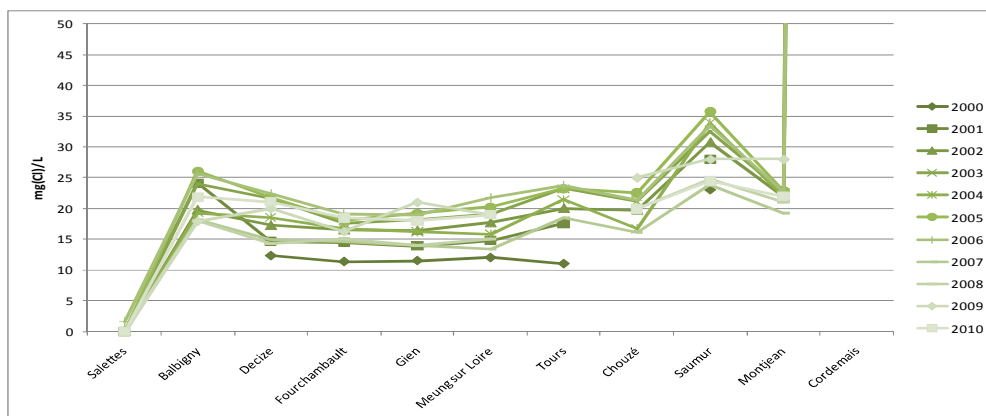


Figure 18 : Graphique des moyennes annuelles de Chlorures dans la Loire (2000/2010)

- Sulfates

Les sulfates se retrouvent dans quasiment toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfatés est naturelle, par l'oxydation du gypse ou de minéraux contenant du soufre.

¹ Selon A. HAKMI dans le mémoire « Traitement de l'eau de source » 2006, l'eau provenant de régions sédimentaires est beaucoup plus concentrée en chlorures qu'une eau d'origine granitique par exemple.



En forte concentration, cela peut être lié à la présence de rejets anthropiques comme l'agriculture ou le rejet de déchets industriels.

L'absence de sulfates à Salettes montre que dans cette zone le substrat n'a pas de minéraux qui contiennent du sulfate et qu'il n'y a pas de pression anthropique face à cet élément. L'augmentation de la teneur de cet élément à Balbigny peut être mise en relation avec l'importante activité d'extraction de graviers que connaît cette zone depuis une cinquantaine d'années. La concentration est ensuite stable sur le reste du cours de la Loire (cf. figure 19).

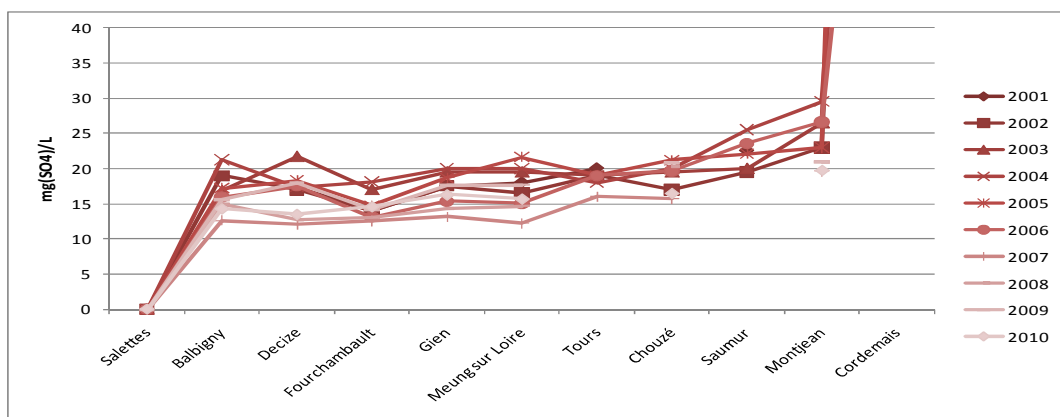


Figure 19 : Graphique des moyennes annuelles de Sulfates dans la Loire (2001/2010)

II. 4. Les acides humiques

- Calcium

Le calcium provient en partie de la dissolution du calcaire, mais aussi des dépôts de carbonates ou de gypse dans l'eau. Il semble donc normal de voir sur la Loire une augmentation de la concentration en calcium d'amont en aval. Le fleuve traverse en effet plusieurs terrasses calcaires le long de son cours.

Cette courbe a la même tendance que la courbe des bicarbonates, avec une diminution importante de la teneur en calcium au niveau de Saumur. Ceci est certainement dû à la précipitation de la calcite, grâce aux conditions favorables créées par l'élargissement du lit et le réchauffement de l'eau (cf. figure 20).



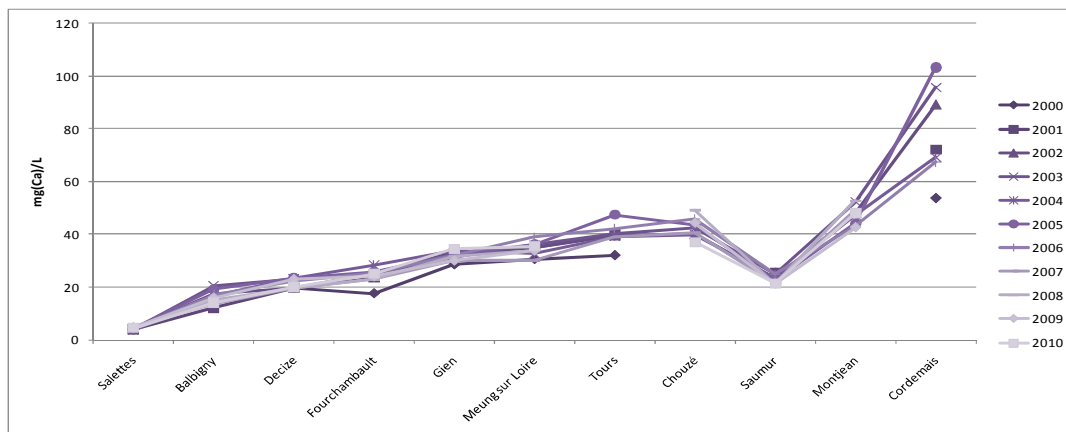


Figure 20 : Graphique des moyennes annuelles de Calcium dans la Loire (2000/2010)

- Magnésium

La concentration de magnésium dans les cours d'eau ne reflète généralement pas des activités anthropiques, mais la composition du socle qu'ils drainent. Ainsi, on peut voir que dans la partie amont de la Loire les sols contiennent peu de magnésium. A partir de Balbigny la concentration augmente très fortement puis reste relativement stable jusqu'à l'intrusion des eaux marines dans la Loire. Des variations annuelles de ce taux sont observables sur chaque station, mais la teneur de magnésium dans les eaux est fonction des conditions hydrologiques et climatiques, qui varient elles aussi tous les ans (cf. figure 21).

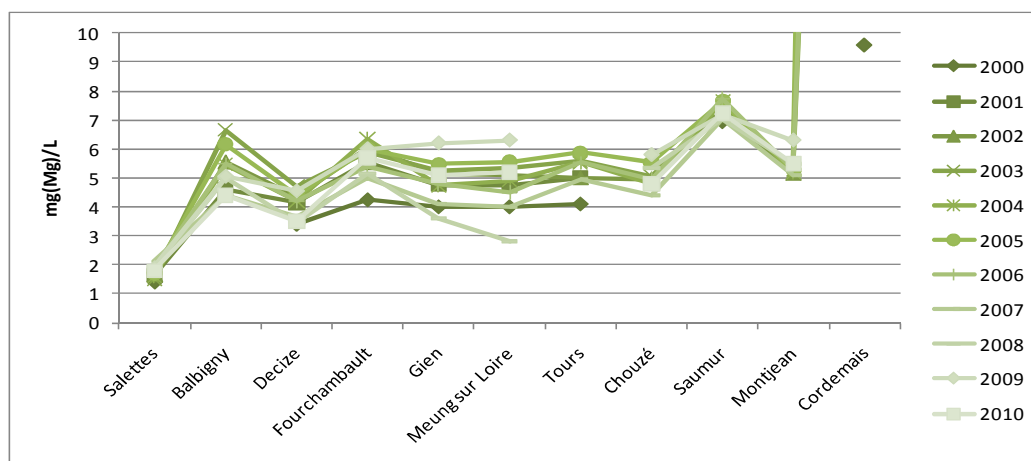


Figure 21 : Graphique des moyennes annuelles de Magnésium dans la Loire (2000/2010)



II. 5. Conclusion

L'analyse des dix-sept paramètres présentée dans cette partie permet de voir plusieurs choses :

- il y a une minéralisation de l'amont vers l'aval des eaux de la Loire, notamment lorsque celle-ci draine des terrains solubles, elle se charge en minéraux ;
- une connexion avec la nappe alluviale est mise en évidence aux alentours de Saumur car il y a un échange de minéraux qui s'effectue dans cette zone entre la Loire et des eaux souterraines ;
- à la confluence avec la Vienne, le lit de la Loire s'élargit considérablement, créant un réchauffement des eaux et favorisant la précipitation de la calcite.

Il existe des indices du lien entre la géologie du bassin ligérien et la chimie des eaux de la Loire, mais l'occupation du sol du bassin versant semble avoir un impact important sur la chimie de ses eaux. L'analyse des caractéristiques physico-chimique de cinq affluents principaux de la Loire permettra de voir si cette hypothèse est avérée.

III. L'influence des affluents sur la qualité des eaux de la Loire

Après avoir étudié quelques paramètres traduisant la qualité physico-chimique des eaux de la Loire le long de son cours, il est nécessaire de se pencher sur les affluents qui, eux aussi, comportent des spécificités relatives à la géologie de leurs bassins versants.

III. 1. L'Allier

Le point d'analyse choisi sur l'Allier se situe à Limons, dans la partie médiane de son cours. Cette station représente les formations lacustres marno-calcaires et de calcaire crayeux de la Limagne, dont les eaux sont minéralisées et carbonatées. En effet, la teneur moyenne en bicarbonates sur les dix dernières années de mesure à Limons est de 90 mg(HCO₃)/L contre à peine 60 à Balbigny (point situé dans la partie médiane de la Loire avant le bec d'Allier).



En comparaison aux valeurs observées sur la Loire avant leur confluence, l'Allier à Limons est plus concentré en magnésium, orthophosphates et phosphore total, pour une conductivité et des teneurs en chlorures similaires. Les principales différences observées sur les caractéristiques étudiées entre l'Allier et la Loire, sont transcrites dans le tableau 1.

	Balbigny	Decize	Limons	Fourchambault
Moyenne Bicarbonates ($mg(HCO_3)/L$)	59,9	64,9	90,2	90,3
Moyenne Magnésium ($mg(Mg)/L$)	5,3	4,1	7,5	5,6
Moyenne Orthophosphates ($mg(PO_4)/L$)	0,31	0,12	0,27	0,15
Moyenne Phosphore total ($mg(P)/L$)	0,13	0,05	0,13	0,07
Moyenne Chlorures ($mg(Cl)/L$)	21,5	18,1	19,9	16,7
Moyenne Ammonium ($mg(NH_4)/L$)	0,28	0,05	0,17	0,05

Tableau 1 : Valeurs moyennes entre 2001 et 2010 de 6 paramètres sur des stations de la Loire et de l'Allier

Le val de l'Allier est une zone riche en minéraux, qui connaît également une forte pression agricole. Ceci peut expliquer les fortes valeurs observées à Limons. Concernant le phosphore (P et PO_4), les teneurs observées à Limons coïncident avec celles de Balbigny. Il se peut que le nord du Mont Forez, qui délimite la zone de partage des eaux entre la Loire et l'Allier, soit chargé en minéraux phosphatés.

Compte tenu des valeurs observées à Fourchambault, il semblerait que malgré les concentrations importantes en certains minéraux de l'Allier, la chimie des eaux de la Loire ne soit pas influencée par celles de cet affluent.

III. 2. Le Cher et l'Indre

Leurs confluences avec la Loire étant distantes d'à peine 40 kilomètres, Le Cher et l'Indre ont été regroupés pour étudier leurs influences sur la chimie de la Loire. Ils s'écoulent sur des bassins versants aux caractéristiques géologiques quelque peu similaires : roches cristallines imperméables à l'amont et formations sédimentaires à l'aval. De plus, l'occupation du sol de ces bassins versants est marquée par des activités agricoles et d'élevage, ainsi que par des zones



urbaines. Les stations d'analyses choisies sont Chisseaux pour le Cher et Montbazon pour l'Indre. Elles se trouvent entre 50 et 60 kilomètres en amont des confluences des rivières avec la Loire.

Que cela soit pour la conductivité, les teneurs en nitrates, bicarbonates ou calcium, le Cher et l'Indre sont beaucoup plus minéralisés que la Loire. Ceci peut, d'une part, s'expliquer par les importantes activités anthropiques ayant lieu sur le bassin versant, notamment pour les nutriments. D'autre part, ces deux rivières drainent des roches sédimentaires carbonatées du bassin parisien, ce qui les charge en bicarbonate calcique (cf. tableau 2).

	Tours	Chisseaux	Montbazon	Chouzé
Moyenne Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	261	365	470	327
Moyenne Nitrates ($\text{mg}(\text{NO}_3)/\text{L}$)	9,6	18,7	23,3	12,5
Moyenne Bicarbonates ($\text{mg}(\text{HCO}_3)/\text{L}$)	104	159	226	126
Moyenne Calcium ($\text{mg}(\text{Ca})/\text{L}$)	41	68	95	43
Moyenne Sulfates ($\text{mg}(\text{SO}_4)/\text{L}$)	18	23	24	21

Tableau 2 : Valeurs moyennes entre 2001 et 2010 de 5 paramètres sur des stations de la Loire, du Cher et de l'Indre

Mis à part pour la conductivité, où la Loire connaît une importante augmentation après la confluence des deux rivières, les autres paramètres n'ont pas été fortement impactés par ces affluents. Par ailleurs, la Loire draine également des roches sédimentaires carbonatées du bassin parisien, ce qui lui confère une augmentation progressive de sa minéralisation.

III. 3. La Vienne

La station d'analyse choisie sur la Vienne se trouve à Chinon, une quinzaine de kilomètres avant sa confluence avec la Loire. Dans cette zone aval du bassin de la Vienne, la rivière draine des formations sédimentaires argilo-sableuses perméables, essentiellement composées de calcaires. Plus en amont, la Vienne s'écoule sur un socle cristallin, formé en grande partie de gneiss, granites et roches imperméables. Malgré la perméabilité des roches dans la section aval du



bassin, les concentrations en bicarbonates, chlorures, sulfates et phosphores sont pourtant moins importantes que sur la Loire. Il est possible que les eaux de la Vienne aient des propriétés moins corrosives que celles de la Loire, entraînant avec elles moins de minéraux.

La Vienne a cependant des teneurs en composés azotés plus élevées que la Loire (cf. tableau 3). Ceci peut s'expliquer par l'occupation du sol, dans la partie aval du bassin versant, qui est majoritairement agricole et qui peut créer une pollution diffuse par nutriments.

	Chouzé	Chinon	Saumur
Moyenne Nitrates (mg(NO ₃)/L)	12,5	12,8	24
Moyenne Ammonium (mg(NH ₄)/L)	0,03	0,9	0,14
Moyenne Bicarbonates (HCO ₃)/L)	126	106	64
Moyenne Calcium (mg(Ca)/L)	42,5	39,4	23,2
Moyenne Chlorures (mg(Cl)/L)	20,3	17,9	29
Moyenne Magnésium (mg(Mg)/L)	5	4,6	7,3
Moyenne Phosphore total (mg(P)/L)	0,09	0,04	0,19
Moyenne Sulfates (mg(SO ₄)/L)	19,2	16,3	22,2

Tableau 3 : Valeurs moyennes entre 2001 et 2010 de 8 paramètres sur des stations de la Loire et de la Vienne

Il est important de noter que pour beaucoup d'éléments les concentrations augmentent après la confluence de la Vienne avec la Loire. Celle-ci n'a donc pas d'influence sur la qualité des eaux de la Loire, mais en mêlant son débit au sien, le cours de la Loire s'élargi, entraînant par la suite, des modifications physico-chimiques de ses eaux. Il est important de noter que les eaux de la Vienne se mélangent difficilement avec celles de la Loire, comme peut le montrer la figure 22, photo prise lors des hautes eaux de la Loire.





Figure 22 : Bec de Vienne, zone où les eaux de la Vienne et la Loire se rencontrent avant de se mélanger progressivement plus en aval. [Source : google image].

C'est également dans cette zone que la Loire quitte les plateaux calcaires pour venir drainer les roches du Massif Armoricain. Cela peut expliquer le changement des caractéristiques des eaux de la Loire.

32

III. 4. La Mayenne

La station choisie sur la Mayenne se situe à Montreuil-Juigné, à une petite vingtaine de kilomètres de Bouchemaine, où la Maine rejoint la Loire. Les concentrations moyennes de la plupart des éléments à cette station sont du même ordre que celles observées à Saumur. La géologie du bassin de la Mayenne est pourtant différente des affluents précédents, puisqu'elle s'écoule sur le Massif Armoricain.

Cet affluent apporte tout de même de fortes teneurs en composés azotés, comme les nitrates ou l'ammonium, de part les nombreuses activités agricoles de son bassin versant. Cela est également vrai pour les orthophosphates (cf. tableau 4).



	Saumur	Montreuil	Montjean
Moyenne Nitrates (mg(NO ₃)/L)	24	25	14
Moyenne Ammonium (mg(NH ₄)/L)	0,14	0,14	0,06
Moyenne Bicarbonates (mg(HCO ₃)/L)	64	66	128
Moyenne Calcium (mg(Ca)/L)	23	25	47
Moyenne Chlorures (mg(Cl)/L)	29	31	23
Moyenne Orthophosphates (mg(PO ₄)/L)	0,2	0,19	0,12

Tableau 4 : Valeurs moyennes entre 2001 et 2010 de 6 paramètres sur des stations de la Loire et de la Mayenne

L'influence de la Mayenne sur la qualité des eaux de la Loire ne semble pas importante compte tenu des teneurs des différents éléments observés à Montjean-sur-Loire. Par exemple, la teneur en bicarbonates est deux fois plus élevée sur la Loire en aval, alors que la Mayenne n'en contient que peu. Ceci peut être lié aux apports du Loir et de la Sarthe, ou à des circulations d'eau souterraines entre Saumur et Montjean-sur-Loire.

III. 5. Conclusion

Malgré le fait que les cinq affluents de la Loire décrits dans ce chapitre, viennent considérablement grossir le débit du plus grand fleuve français, il ne semble pas que leurs compositions physico-chimiques influencent celle de la Loire. En effet, une fois que les eaux sont mélangées, la Loire retrouve rapidement son 'équilibre' chimique. Cela est à mettre en relation avec la nature géologique du substrat qu'elle draine, et les facteurs climatologiques, mais aussi avec l'occupation du sol. Les activités anthropiques ont, en effet, un impact sur la qualité des eaux de la Loire. L'analyse de l'évolution de quelques paramètres sur une longue période peut permettre de voir si les comportements humains ont réellement une influence sur la composition chimique de la Loire.



IV. Evolution temporelle de la qualité des eaux de la Loire de 1981 à 2010 à La Possonnière et Montjean-sur-Loire

Une dizaine de kilomètres après la confluence avec la Maine se trouve la station d'analyse de La Possonnière, où des données concernant la physico-chimie sont disponibles entre 1981 et 2001. Quelques kilomètres plus loin, se trouve le point de mesure de Montjean-sur-Loire qui complètera ces données jusqu'en 2010. Ces stations permettent de prendre en compte tous les affluents majeurs de la Loire, et elles se situent en aval des formations sédimentaires calcaires du Bassin Parisien. Les débits moyens annuels de la Loire à Montjean-sur-Loire sont présentés dans la figure 23 ci-dessous.

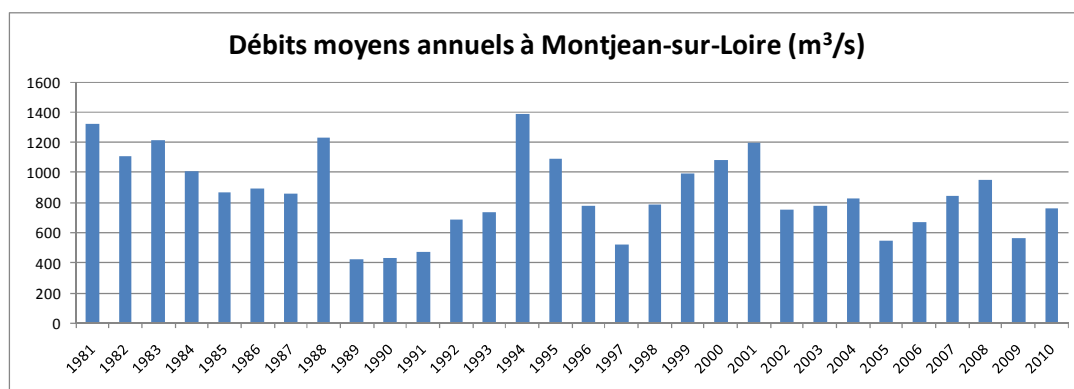


Figure 23 : débits moyens annuels à Montjean-sur-Loire (entre 1981 et 2010) [Source : Banque Hydro]

La compilation des teneurs annuelles de la Loire en sulfates, calcium, chlorures, nitrates, nitrites et phosphore total depuis trente ans, permet de voir leurs évolutions dans le temps.

Dans un premier temps, on peut voir sur la figure 24 que les tendances des paramètres nitrates, chlorures et sulfates sont sensiblement les mêmes depuis trente ans. Entre 1990 et 2000 leurs teneurs ont légèrement augmenté, puis elles diminuent ensuite jusqu'à aujourd'hui. Cela peut être mis en relation avec la mise en place des premières mesures concernant la protection de l'Eau en France. En effet, en 1991 la 'directive nitrates' est appliquée pour réduire les apports en nutriments dans les pratiques agricoles, et ainsi préserver les milieux aquatiques. Cette directive



sera suivi en 1992 par une nouvelle loi sur l'eau, pour laquelle : « *L'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général* » [Loi sur l'eau 3/01/1992]. Ce qui donnera naissance aux Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, appliqués à l'échelle d'un bassin versant. Enfin, en 2000 la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE), et sa transposition en loi Française en avril 2004, visent à l'atteinte d'un bon état écologique des masses d'eau d'ici 2015. Ainsi l'amélioration des procédés de traitement des eaux usées et des pratiques agricoles tendent à limiter la pollution des cours d'eau. Mais leur mise en application est longue et les effets ne sont pas directement observables sur les milieux. C'est pourquoi les teneurs en sulfates, nitrates et chlorures diminuent progressivement depuis les années 2000.

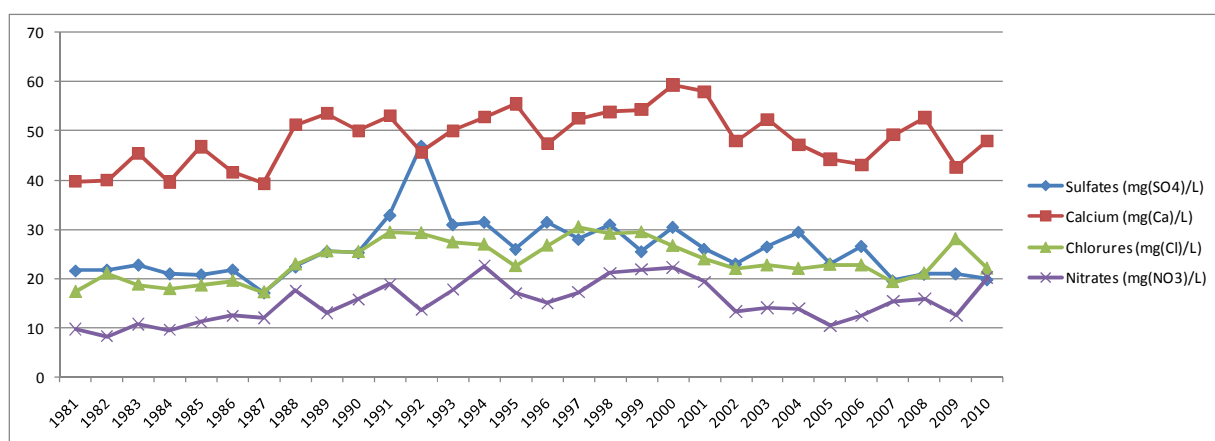


Figure 24 : Graphique des moyennes annuelles de Sulfates, Calcium, Chlorures et Nitrates dans la Loire à Montjean-sur-Loire et La Possonnière (1981/2010)

Concernant la concentration en calcium de la Loire, elle varie annuellement, mais reste relativement constante. Ces variations sont dues à des facteurs extérieurs naturels, comme l'hydrologie ou la température, et ne sont pas fonction des activités humaines. La confluence avec la Maine signe le passage de la Loire sur le Massif Armoricaïn, et les teneurs en calcium observées à Montjean-sur-Loire et La Possonnière sont générés par l'amont du fleuve. Cependant, ces valeurs sont en légère diminution depuis les années 2000, ceci peut être lié au fait



que les débits moyens de la Loire de ces dix dernières années sont plus faibles que dans le passé.

Pour ce qui est des concentrations en phosphore total et en nitrites, les tendances sont plus parlantes. En effet, à partir de 1992 les teneurs de ces éléments dans la Loire diminuent, et se stabilisent depuis quatre ans (cf. figure 25). Cela peut être mis en relation avec les premières mesures visant à réduire l'utilisation du phosphore dans les produits ménagers (comme les lessives) en 1991, renforcées en 1998 par un nouvel arrêté. Concernant les nitrites, leur diminution est probablement liée à l'application de la 'directive nitrates' (en 1991).

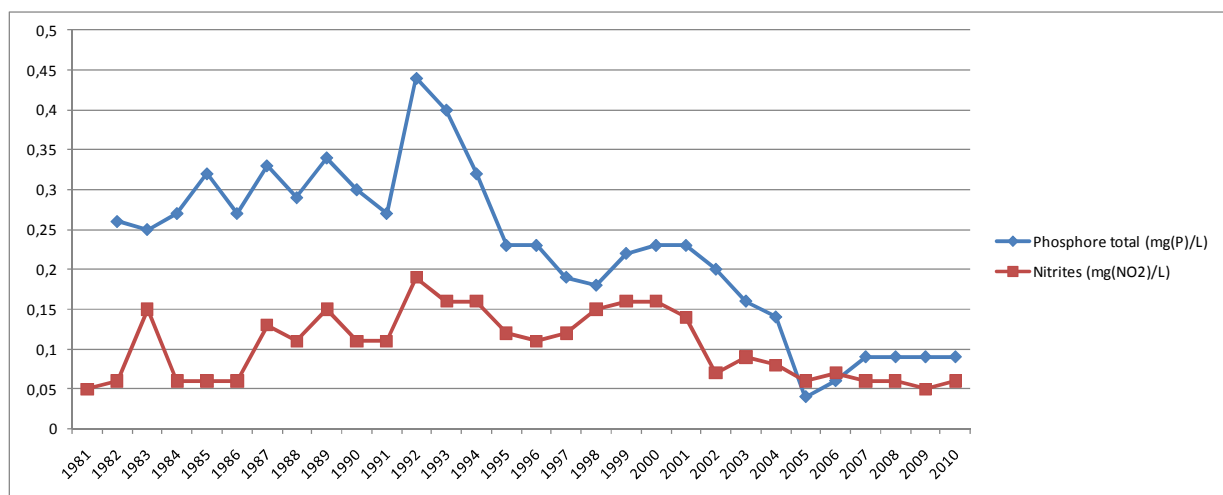


Figure 25 : Graphique des moyennes annuelles de Phosphore total et Nitrites dans la Loire à Montjean-sur-Loire et La Possonnière (1981/2010)

Grâce à l'évolution de la législation Française concernant la protection des milieux aquatiques, on remarque que la concentration de la plupart des éléments d'origine anthropique a diminué dans les eaux de la Loire. Cependant, ce n'est pas le cas de tous les paramètres, qui peuvent rester dans les sédiments et qui sont beaucoup plus longs à se dégrader (comme les métaux lourds ou les pesticides).

De plus, depuis une centaine d'années on observe des changements dans l'usage de certains milieux, comme les prairies humides des plaines alluviales. Elles étaient traditionnellement utilisées pour le pâturage du bétail, puis elles ont été drainées et aménagées pour accueillir des



cultures plus productives. Actuellement, avec l'augmentation de la démographie française, ces zones à proximité des grandes agglomérations deviennent des 'vallées périurbaines', des espaces d'expansion urbaine. Cela crée une augmentation des pressions polluantes aux abords des cours d'eau, sans parler des risques d'inondation qui peuvent être dramatiques. Mais dans certaines villes ces phénomènes s'accompagnent aussi de création de zones destinées à la protection, préservation du milieu et à la sensibilisation du public de l'utilité de ces espaces, et permettent une nouvelle utilisation écologique de ses milieux. C'est notamment le cas des basses vallées angevines. C'est une zone majeure d'expansion naturelle des crues, qui recueille les eaux des rivières Mayenne, Sarthe et Loir, et est directement sous influence de la Loire.



V. Conclusion

A travers ce mémoire, différents aspects ont été développés, pour tenter de répondre à la problématique suivante : *« Est-ce que la qualité physico-chimique des eaux de la Loire est influencée par la géologie de son bassin versant, ainsi que par les affluents ? »*

Dans un premier temps il semblerait que, malgré les apports d'eau importants qu'ils confèrent à la Loire, les affluents comme l'Allier, le Cher, l'Indre, la Vienne et la Mayenne n'ont pas une influence marquée sur la qualité physico-chimique du fleuve.

En revanche, le bassin versant, par sa géologie ainsi que son occupation du sol, est un moteur important de la composition chimique des eaux de la Loire. En effet, le ruissellement des eaux de pluie, et les connexions entre la Loire et les eaux souterraines de sa nappe alluviale apportent au fleuve de nombreux minéraux d'amont en aval.

Sur quasiment tous les points d'analyse, et pour tous les paramètres, des variations saisonnières sont observables. Elles témoignent de l'interrelation entre les facteurs climatologiques, hydrologiques et la nature des eaux de la Loire. Mais il est également important de noter que l'occupation du sol du bassin versant a un impact majeur sur les eaux de la Loire, notamment pour les éléments nutritifs que l'on retrouve dans les pratiques agricoles. L'évolution de la législation pour le rejet de ces éléments dans le milieu naturel, ainsi que dans la protection et préservation des écosystèmes aquatiques, améliorent la qualité de l'eau, en diminuant leurs teneurs. Néanmoins, ces processus sont longs à mettre en œuvre et leurs impacts sur le milieu naturel ne se voient pas directement pour tous les éléments.



Bibliographie

Ouvrages consultés

- Barraud R., Carcaud N., Davodeau H., Montembault D. Décembre 2010. Tableau géographique des paysages ligériens. *Géosciences, la revue du BRGM pour une terre durable, N°12 La Loire, Agent géologique*. Pages 112 à 121.
- Bouchardy C. 2002. *La Loire, Vallées et vals du grand fleuve sauvage*. Delachaux et Niestlé, Paris 2002. 288 pages.
- Carroué J.P. Décembre 2010. Les richesses minérales de la Loire. *Géosciences, la revue du BRGM pour une terre durable, N°12 La Loire, Agent géologique*. Pages 100 à 111.
- Grosbois C., Breheret J.G., Moatar F., Négrel P. Décembre 2010. La Loire, usine à carbonates. *Géosciences, la revue du BRGM pour une terre durable, N°12 La Loire, Agent géologique*. Pages 54 à 59
- Négrel P., Rad S. Décembre 2010. Signatures géochimiques de la Loire. *Géosciences, la revue du BRGM pour une terre durable, N°12 La Loire, Agent géologique*. Pages 60 à 67
- Nehlig P. Décembre 2010. La géologie du bassin de la Loire. *Géosciences, la revue du BRGM pour une terre durable, N°12 La Loire, Agent géologique*. Pages 10 à 23.

PDF consultés :

- Etablissement Public Loire. Décembre 2003. Bassin versant Loire, Etude monographique des fleuves et grandes rivières de France. 13 pages.
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne. Juin 2010. Réseau Départemental de Suivi de la Qualité des Rivières de la Loire, Bilan de l'année 2009. 171 pages.
- R.I.V.E. de la Vienne. Janvier 2011. DIAGNOSTIC TERRITORIAL du BASSIN VERSANT VIENNE AVAL. 57 pages.
- Lettre du Groupement d'Intérêt Public LOIRE ESTUAIRE • N°7 • Novembre 2006. Dossier : Sous les prairies, le sédiment. 2 pages.
- Beture–Cerec. Septembre 2003. Etude préalable à la mise en place d'une gestion concertée de l'eau dans le bassin versant du Cher. Etape 1 : Etat des lieux et diagnostic. 131 pages
- D. BANAS et J.C. LATA. Les Phosphates. 6 pages.



- Plan Interrégional Loire Grandeur Nature. Septembre 2005. Evolution de l'enfoncement du lit mineur de la Loire amont (entre Grangent et Balbigny). 103 pages.
- Rapport environnemental du SAGE du bassin versant de la Mayenne. Septembre 2006. 18 pages.
- Asconit Consultants. Juin 2007. Schéma d'aménagement et de gestion des eaux de l'Allier aval - État des lieux. 32 pages.
- Ph. Negrel, J. Barbier et E. Peterlet-Giraud. Janvier 2001. Caractérisation géochimique et isotopique des relations eaux de surface – eaux souterraines de la zone humide de la Loire au niveau du Bec d'Allier. 67 pages.

Site internet consultés

- Agence de l'Eau Loire-Bretagne www.eau-loire-bretagne.fr/
- Base de données de bassin : OSUR <http://osur.eau-loire-bretagne.fr/exportosur/Accueil>
- Portail national d'accès aux référentiels sur l'eau www.sandre.eaufrance.fr/
- Banque Hydro <http://www.hydro.eaufrance.fr/>
- RIVIERE ALLIER. www.riviere-allier.com
- Etablissement Public du bassin de la Vienne <http://www.eptb-vienne.fr/>
- Le SAGE du bassin versant de la rivière La Mayenne : une gestion partagée et raisonnée de la ressource en eau <http://www.sagemayenne.org/accueil/>
- Gest'eau <http://www.gesteau.eaufrance.fr>
- Plan Loire Grandeur Nature <http://www.plan-loire.fr/>
- DREAL Auvergne, <http://www.auvergne.developpement-durable.gouv.fr>
- GéoWiki, Encyclopédie de géologie, minéralogie, paléontologie et autres géosciences, http://www.geowiki.fr/index.php?title=G%C3%A9ologie_du_massif_armoricain
- Loire Nature, les basses vallées angevines, http://www.loirenature.org/article.php3?id_article=57
- United Nations Environmental Program www.gemswater.org/atlas-gms/salts-f.html



Table des matières

<i>Résumé</i>	4
<i>Abstract</i>	4
Introduction	6
I. Présentation des caractéristiques de la Loire et de son Bassin Versant	6
<i>I. 1. Contexte général de la Loire</i>	6
• Hydrologie	7
• Les affluents	9
<i>I. 2. La géologie du bassin ligérien</i>	10
<i>I. 3. Sectorisation géomorphologique de la Loire</i>	12
• Secteur 1 : La Loire supérieure	12
○ De la source au barrage de Grangent (1) :	12
○ De Grangent à Villerest (2) :	12
• Secteur 2 : La Loire amont	13
○ De Villerest au bec d'Allier (3) :	13
• Secteur 3 : La Loire Moyenne	13
○ Du bec d'Allier à Bonny sur Loire (4) :	13
○ De Bonny sur Loire à Blois (5) :	13
○ De Blois aux Ponts de Cé (6) :	13
• Secteur 4 : La Loire aval	13
○ Des Ponts de Cé à Couëron (7) :	13
○ De Couëron à St Nazaire (8) : l'estuaire	14
<i>I. 4. La méthodologie de l'étude</i>	14
II. Evolution de la qualité des eaux de la Loire d'amont en aval	15
<i>II. 1. La physico-chimie</i>	16
• pH	16
• Conductivité	16
• Matières en Suspension (M.E.S.)	16
• Oxygène dissous	17
• DBO5	18
<i>II. 2. Les nutriments</i>	19
• L'Azote	19
○ Ammonium (NH ₄ ⁺)	19
○ Azote Kjeldahl	19



○ Nitrates	20
○ Nitrites	21
• Le Phosphore	22
○ Orthophosphates	22
○ Phosphore total	22
<i>II. 3. Les cations et anions inorganiques</i>	23
• Carbonates	23
• Bicarbonates	24
• Chlorures	25
• Sulfates	25
<i>II. 4. Les acides humiques</i>	26
• Calcium	26
• Magnésium	27
<i>II. 5. Conclusion</i>	28
III. L'influence des affluents sur la qualité des eaux de la Loire	28
<i>III. 1. L'Allier</i>	28
<i>III. 2. Le Cher et l'Indre</i>	29
<i>III. 3. La Vienne</i>	30
<i>III. 4. La Mayenne</i>	32
<i>III. 5. Conclusion</i>	33
IV. Evolution temporelle de la qualité des eaux de la Loire de 1981 à 2010 à La Possonnière et Montjean-sur-Loire	34
V. Conclusion	38
Bibliographie	39
Table des matières	41

