

Le contrôle de l'eau à Paris, et les bases de données qui en résultent

Christine Cun (CRECEP, Paris)

1. Introduction

Au cours du XIXème siècle, des épidémies de choléra déferlèrent sur l'Europe entière (notamment en 1831 et 1832) et éprouvèrent particulièrement les grandes capitales de l'époque : Paris et Londres. Leur origine hydrique ayant été démontrée, il fut décidé de remanier complètement le Service des eaux de la ville. Une réorganisation complète de l'alimentation de Paris fut entreprise, et la distinction entre service public et service privé devint effective, un réseau séparé de canalisation étant affecté à chacun d'eux. Le service privé est alimenté par les eaux de source ou de nappes qui sont amenées vers la capitale par des aqueducs dont les réalisations s'échelonnent de 1865 à 1925, et les eaux des rivières, filtrées et stérilisées. Elles sont pompées en Marne et en Seine par deux établissements filtrants à St Maur (1896) et Ivry (1900). Le service public est alimenté au moyen d'eau de rivière brute par un certain nombre d'usines dont les principales sont les usines d'Austerlitz et d'Ivry I, qui puisent en Seine la plus grande part de la production nécessaire au service public et l'usine de la Villette

Evolution du contrôle de l'eau à Paris

Les premières études sur la pollution de la rivière datent de 1880 et concernent l'oxygène dissous. Le contrôle régulier de l'eau de la Seine débute après 1883. L'oxygène dissous, les nitrates, nitrites, l'ammonium et le résidu sec sont déterminés depuis 1884. Ce contrôle est effectué par l'Observatoire Municipal de Montsouris, créé en 1868 par la Ville de Paris pour des observations météorologiques. Le Service de Contrôle des eaux de la Ville de Paris a été créé le 14 mai 1900, sous la pression d'une opinion publique alarmée par la recrudescence de la fièvre typhoïde qui s'était manifestée à Paris et atteignit son maximum au cours de l'année 1899. Il est issu des travaux d'une Commission spécialement constituée par arrêté préfectoral du 1^{er} mars 1899, la Commission Scientifique de Perfectionnement de l'Observatoire de Montsouris, chargée d'étudier les moyens propres à combattre l'épidémie qui prenait alors des proportions inquiétantes. La mission incombant au service a donc été, dès l'origine, de veiller par tous les moyens en son pouvoir, au maintien de la bonne qualité des eaux de sources alimentant Paris. Par la suite, l'activité du service devait largement déborder le cadre initial de la seule ville de Paris. Les premières analyses ont eu lieu dès 1884 à Ivry-sur-Seine et à Paris, quai d'Austerlitz, ainsi qu'à Choisy-le-Roi à partir de 1886. Les mesures sont hebdomadaires mais les seuls résultats disponibles actuellement sont des moyennes mensuelles. En décembre 1910, le service de contrôle des eaux est chargé du contrôle de l'épuration dans les usines de filtration alimentant le département de la Seine. Pendant la première guerre mondiale, les données ne sont pas publiées et l'on ne dispose que de moyennes annuelles. A partir de 1924, les valeurs disponibles sont trimestrielles et des mesures de surveillance complémentaires sont réalisées quotidiennement à Choisy-le-Roy et à Ivry-sur-Seine. Le Service de Contrôle des Eaux de la Ville de Paris (SCEVP), devenu depuis le CRECEP, est créé en 1935 pour assurer le contrôle des eaux de rivières et des eaux usées, en plus de ses obligations portant sur les eaux de distribution. Les champs d'activité du Service de Contrôle des Eaux, en ce qui concerne notamment les eaux potables, sont donc nombreux et dispersés : pavillons de captage des sources, aqueducs, réservoirs, stations filtrantes, usines de refoulement, conduites de distribution. Suite à la loi sur l'eau n°64-1245 de 1964 le SCEVP, puis le CRECEP a assuré les analyses correspondant à l'inventaire national (supprimé en 1981), et la surveillance des ressources en eau du bassin à travers différents réseaux (amont des prises d'eau, petites rivières, Seine aval, Seine à Paris, droit des prises d'eau...). Les contrôles de qualité d'eau sont

maintenus dans les bassins de la Seine et de la Marne à travers 62 stations de mesures afin de permettre une meilleure évaluation de la qualité et de l'évolution temporelle de la rivière à travers des contrôles qualitatifs et quantitatifs des rejets.

2. Le Gisement de données exploitables

L'origine , les sources

Les données sont réparties sur des types de supports différents : registres d'eaux usées, registres d'usines de traitement d'eau, cahiers de laboratoire, listing et bases de données usines, listing et bases de données rivières.

Les registres sont, pour la plupart, annuels, mais certains contiennent 2, voire 3 années. Ils couvrent la période 1945-1976. Les bases de données sont toujours annuelles et contiennent des informations obtenues depuis 1980.

Les points et les fréquences de prélèvement ont changé au cours du temps, mais on peut mettre en évidence des catégories de tournées, et notamment : les grandes tournées sur l'ensemble du bassin Seine Normandie, les petites tournées de Seine et de Marne, les prises d'eau, et les tournées mensuelles. Chaque catégorie est caractérisée par une fréquence et des stations de prélèvement, ainsi que des paramètres de mesure. Par suite, il est apparu nécessaire de mettre en place une première base de données informatique permettant la gestion des archives et l'évaluation du nombre d'informations disponibles et exploitables au CRECEP. Ces données sont au nombre de deux millions environ puisque, sur une période de pratiquement 100 ans (1901-1999), le CRECEP assure les analyses de 62 stations de mesure concernant 120 paramètres chimiques, physiques et biologiques.

Bases de données et consolidation

La variété des méthodes d'analyse et des unités utilisées pendant la période étudiée, ainsi que la multiplicité des sources et des supports d'information nous a conduit à créer un système informatique de gestion des données facilitant la saisie des informations chiffrées et servant de filtre de consolidation des données à travers des barrières d'interdiction de saisie de doublons, et de limitation des erreurs de saisie. Pour tenir compte des variations d'unités et de méthodes au cours du temps, un système de « code prestation » permet d'identifier l'origine de la donnée saisie (laboratoire central, usine, observatoire de Montsouris...) et la méthode d'analyse qui y est attachée.

La précision, l'exactitude et la fidélité des différentes méthodes utilisées tout au long du siècle ne peuvent être équivalentes, surtout sur le plan de l'incertitude sur les mesures. Pour vérifier que cette disparité potentielle n'a pas d'effet significatif sur les variations des séries temporelles, nous avons vérifié statistiquement l'homogénéité des sous-séries consécutives correspondant aux différentes méthodes.

3. Exploitation des données

La surveillance de la pollution de l'environnement tend à produire d'importantes quantités de données, souvent difficiles à interpréter car il faut convertir des données analytiques complexes en informations pertinentes nécessaires à la prise de décision. Dans les études environnementales, il existe un intérêt croissant pour l'analyse des séries temporelles en relation avec les dégradations de l'environnement, l'une des questions principales étant de savoir si la qualité de l'eau a changé sur un plan spatial et/ou temporel.

Les méthodes exploratoires

Ces méthodes ont globalement pour objectif de mettre en évidence qualitativement et de visualiser les phénomènes issus de volumes importants des données

Etudes chronologiques et longitudinales

Le problème majeur de ce type d'étude concerne la représentativité de l'échantillonnage dans l'espace. Pour des raisons historiques bien compréhensibles, les stations de mesure sur la Seine sont concentrées autour de Paris. Ce n'est que récemment, notamment avec la mise en place du réseau national de bassin, que des stations plus en amont sont exploitées, avec des fréquences de surveillance assez faibles. Quatre critères de sélection des stations de mesure et des paramètres analytiques ont été défini: longueur de la chronique, stabilité des méthodes de mesure (ou corrélation des différentes méthodes utilisées pour mesurer un même paramètre), fréquence de mesure sur un plan spatial et temporel, et représentativité. Pour satisfaire au mieux ces quatre critères, nous avons parfois dû ajouter à la liste de base certaines stations présentant un faible nombre de mesures (Montereau, Melun, Moret sur Seine), et éliminer certaines stations disposant de longues chroniques, mais faisant doublon (Asnières, pont de Billancourt, Bry).

En ce qui concerne les mesures physico-chimiques, le principe de sélection est de répartir les différents paramètres en plusieurs familles, correspondant chacune à un type de pollution déterminée, afin de choisir les plus pertinents et les plus représentatifs.

Cette première exploitation simple utilise les moyennes annuelles des données de qualité d'eau enregistrées dans le bassin Seine-Normandie de 1910 à 1993, et analyse les variations spatiales et temporelles de six paramètres: ammonium, nitrates, chlorures, oxygène dissous, demande biologique en oxygène et coliformes totaux, dans 22 stations sélectionnées réparties le long de la Seine (13 stations) et de la Marne (9 stations).

Pour visualiser des chroniques de données aussi longues, nous avons choisi des représentations graphiques chronologiques des certains paramètres sur des stations de mesure représentatives, et des représentations graphiques longitudinales de toutes les stations de mesure choisies pour évaluer l'évolution spatiale du degré de pollution. (Figures 1 et 2)

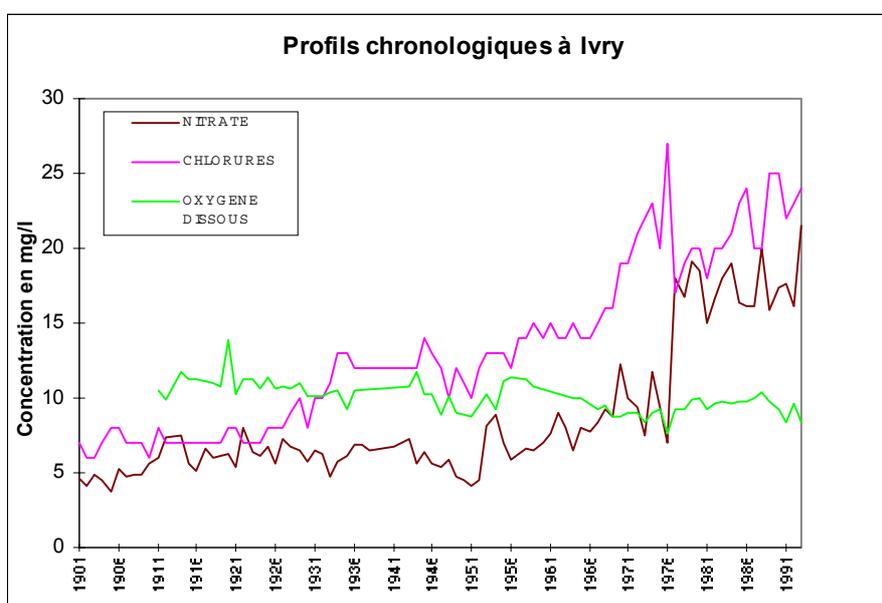


Figure 1 : *profils chronologiques de nitrates, chlorures et oxygène dissous à Ivry-Sur-Seine*

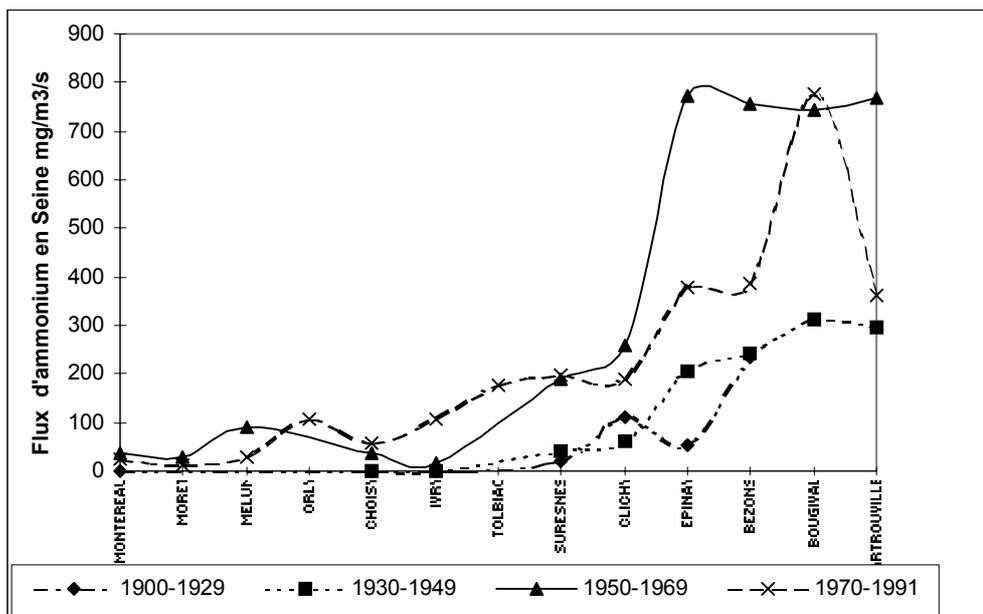


Figure 2 : Profils longitudinaux d'ammonium en Seine sur quatre périodes significatives

L'oxygène dissous est la mesure la plus ancienne et la plus synthétique réalisée sur l'eau de la Seine pour apprécier sa qualité puisqu'il permet d'évaluer la capacité des fleuves à maintenir la vie aquatique et à assurer l'auto-épuration des charges polluantes. Même si d'autres effets possibles (micropollution en particulier) ne sauraient être négligés, les déficits brutaux en oxygène sont les manifestations les plus évidentes des surverses (rejets qui comportent fréquemment une part importante d'eaux usées mélangées aux eaux de pluie qui ont ruisselé sur les surfaces urbaines) de réseau unitaire par temps de pluie. On peut ainsi observer, à toutes les stations de mesure en aval de Paris, des creux marqués dans les courbes d'oxygène dissous au passage des masses d'eau polluées. Bien que, de plus en plus fréquemment, les villes nouvelles soient équipées de réseaux séparatifs, ce problème demeure d'actualité pour de nombreuses années encore tant le nombre de réseaux unitaires est grand, à commencer par celui de l'agglomération parisienne, un des plus importants au monde.

Les caractéristiques conservatives du paramètre chlorures en font l'une des mesures les plus significatives de la qualité chimique des eaux de rivière et en particulier de leur degré de trophie. Dans le bassin Seine-Normandie, l'urbanisation progressive de la région parisienne a eu pour conséquence un accroissement proportionnel de la teneur en chlorures dans la Seine

Les apports anthropiques majeurs d'ammonium sont constitués par les grandes concentrations humaines ou animales, et par certaines activités industrielles (fabrication d'engrais) ou d'épuration (rejet de matériaux incomplètement oxydés). La présence de nitrates dans l'eau en l'absence d'apports anthropiques atteste que le phénomène d'auto-épuration est effectif. Mais aujourd'hui, dans de nombreuses rivières des pays industrialisés, ce cycle de l'azote est déséquilibré par l'augmentation des populations (effluents urbains et industriels), la concentration des élevages d'animaux (décomposition de la matière organique) et surtout l'épandage d'engrais minéraux. Non toxiques aux doses rencontrées actuellement en Seine, les nitrates constituent néanmoins une gêne en tant que sels nutritifs participant à l'eutrophisation de la rivière. Malgré une politique d'assainissement des rejets urbains et industriels, et des campagnes d'information auprès des agriculteurs, la Seine est loin d'avoir retrouvé la qualité chimique qu'elle avait à la fin du siècle dernier. La concentration en nitrates continue à augmenter et l'on ne connaît pas l'étendue des stocks dans les aquifères souterrains, pas plus que leur « temps de purge ».

Ces premiers résultats indiquent que les paramètres de qualité d'eau sont significativement affectés depuis 1950, sauf dans le cas de l'ammonium, déjà présent au début du siècle dans la partie aval de la Seine. En dépit de tous les efforts, particulièrement au niveau des usines de traitement d'eaux usées, les rivières Seine et Marne n'ont pas encore retrouvé la qualité d'eau du siècle dernier.

Description par analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est une approche exploratoire qui permet de mettre en évidence les proximités des données traitées, donc de constituer graphiquement des groupes d'informations semblables, ou réagissant de la même façon. Dans le cadre de l'étude d'ensembles importants de valeurs, issues de la mesure de nombreuses variables, c'est une méthode de choix pour une approche synthétique des informations majeures et de l'importance relative des données, qui aide à la détection des similitudes, des différences et des relations entre les échantillons, structure pas toujours immédiatement évidente à partir des informations chiffrées d'origine.

L'objectif de cette deuxième partie d'exploration des chroniques de données est de reprendre les paramètres et stations de mesures précédents et d'utiliser l'analyse en composantes principales pour visualiser les évolutions spatiales et temporelles. Cependant, compte tenu de l'ampleur de la période étudiée, il est inévitable d'être confronté à des données manquantes, et cette méthode multivariée n'autorise pas l'absence de données dans les séries. Compte tenu de la faible variation des moyennes annuelles de deux années successives et de l'absence de phénomènes saisonniers sur la période étudiée, nous avons généré un certain nombre de données manquantes par un système de lissage avec moyenne mobile, dans la mesure où les données générées ne représentent pas plus de 10% du total des données, et où les données manquantes ne constituent pas une période supérieure à 5 années successives.

Les calculs réalisés sur la station de mesure d'Ivry-sur-Seine permettent de dégager trois groupes d'années de comportements distincts (figure 3). Le premier groupe couvre la période 1945-1959 et se trouve à l'opposé des variables chlorures, nitrates, ammoniac. Ces années sont caractérisées par une forte teneur en oxygène dissous. Le deuxième groupe couvre la période 1960-1970 et s'étale sur deux quadrants diamétralement opposés, le début de la période étant caractérisé par la variable oxygène dissous, et la fin de la période par la variable DBO. On peut ainsi supposer une évolution de la qualité de l'eau pendant la décennie conduisant à une augmentation de la DBO au détriment de la teneur en oxygène dissous. Le dernier groupe, situé à l'opposé du premier et caractérisé par les variables chlorures, nitrates, ammoniac et conductivité, couvre les années 1970 à 1993. La qualité de l'eau brute de Seine s'est donc encore dégradée, surtout au niveau des variables représentatives de rejets urbains et d'activités humaines.

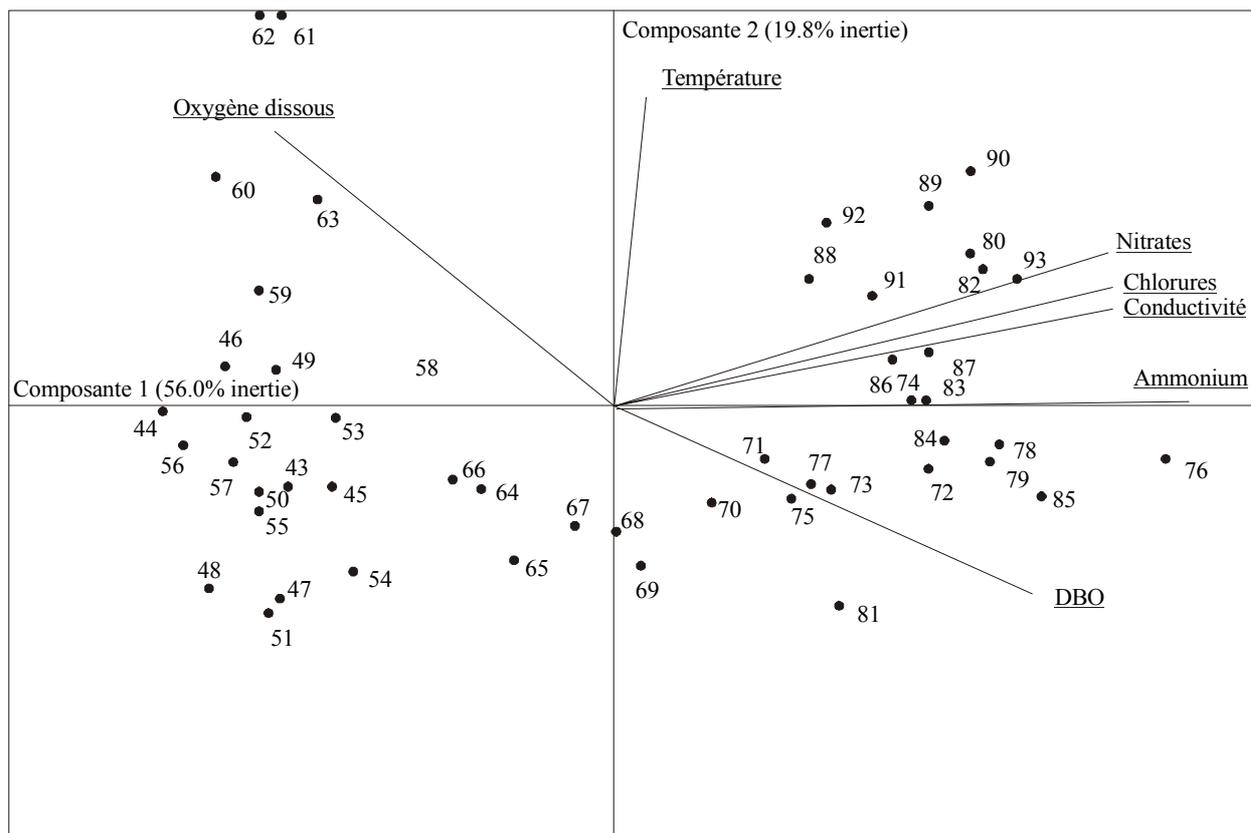


Figure 3. Carte individus x variables des valeurs moyennes annuelles pour la station Ivry-sur-Seine

Par cette même méthode, une études spatiale de la répartition des stations pour les périodes 1960-1974 et 1975-1993 montre que plusieurs groupes de points se dégagent avec une position dans l'espace orthonormé proche de leur position réelle sur les cartes géographiques (figures 4 et 5). La première composante principale oppose les stations de mesure en Seine amont, aux stations de mesure en Seine aval, après Paris. Les stations de mesure en Seine amont forment un groupe particulier, positionné entre les variables oxygène dissous et nitrates. Ce groupe est peu éloigné du groupe des points de mesure à l'amont immédiat de Paris. Les stations dans Paris sont positionnées sur l'axe de la deuxième composante principale, à mi-distance des deux groupes. Le groupe des stations de Paris *intra-muros*, ou immédiatement en amont, est caractérisé par la variable nitrate. Le groupe des stations immédiatement à l'aval de Paris est caractérisé par des variables indiquant une pollution par des rejets urbains, notamment les chlorures et la DBO. Ceci indique une dégradation de la qualité de l'eau de la Seine après la traversée de la capitale. Enfin, les stations de mesure à l'aval de Paris, après la confluence Seine-Oise, forment un groupe particulier, caractérisé par la variable ammonium. L'analyse comparée détaillée des profils des deux périodes pour la Seine montre l'impact de l'utilisation des fertilisants dans les zones de culture dans les années 60-70, avec une qualité d'eau très marquée par la variable nitrate, et ce jusqu'à Paris. Seules les stations en aval de l'émissaire de Clichy sont caractérisées par les variables ammoniacque, chlorures et nitrates. Le profil de la période 75-93 permet de constater un déplacement de la pollution en nitrates vers l'aval de Paris, et l'impact probable de la station de traitement des eaux usées d'Achères avec une nette discrimination des stations en amont et en aval de Conflans-Ste-Honorine, zone de rejet des eaux traitées. Les stations en amont et en aval de Paris tendent à se rapprocher, ce qui indique une dégradation générale de la qualité de l'eau.

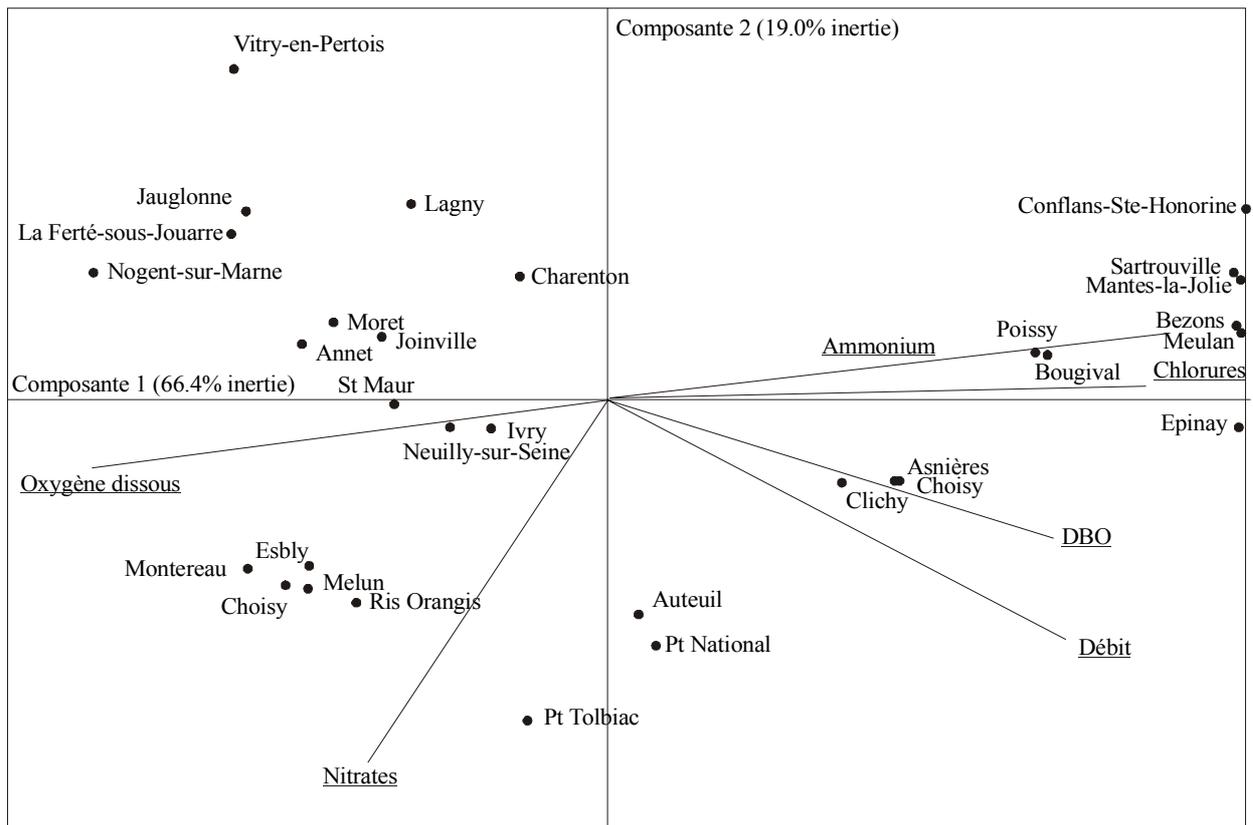


Figure 4. Carte individus x variables des stations de mesure sur la Seine et la Marne pour la période 1960-1974

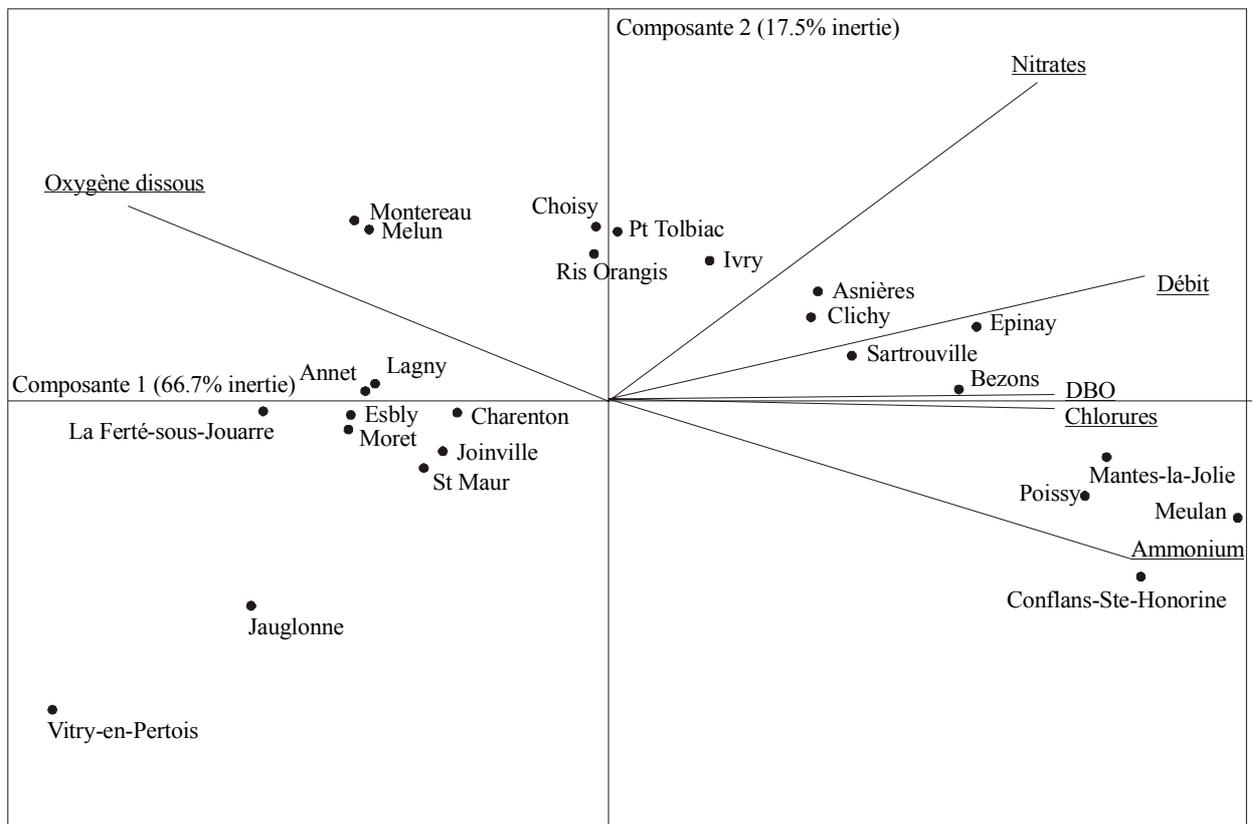


Figure 5. Carte individus x variables des stations de mesure sur la Seine et la Marne pour la période 1975-1993

Les méthodes explicatives

Recherche de tendances, différences et similitudes

Après l'obtention d'éléments qualitatifs, il est intéressant de tester les séries de données avec des méthodes statistiques utilisant des graphiques d'analyse des tendances et des dispersion, et permettant d'identifier les changements majeurs dans les périodes. Une analyse statistique avec des tests non paramétriques tels le test de Kruskal-Wallis (homogénéité des médianes des sous-groupes), Kendall (tendances), Bartlett (homogénéité de la dispersion des sous-séries) et Mann-Whitney (identification des dates de rupture), permet de confirmer le type et les dates des changements et des tendances. L'utilisation de tests non paramétriques est imposée par le fait que les chroniques de données exploitées présentent des informations manquantes

Pour la plupart des paramètres de qualité d'eau exprimés en flux annuels, la période 1931-1960 ne présente pas d'évolution significative de la valeur médiane. En revanche, les trente dernières années conduisent à des changements marqués tous les dix ans. Les teneurs en oxygène dissous ne présentent pas de tendance monotone d'évolution. Les données en chlorures présentent de nettes évolutions pour toutes les périodes testées de 1921 à 1993. Les moyennes en nitrates et ammonium présentent les mêmes évolutions croissantes entre 1961 et 1970. Les nitrates ont également une tendance croissante dans la période 1971-1980.

4. Conclusions et perspectives

Les résultats obtenus dans cette étude ne peuvent être comparés à d'autres résultats compte tenu de la longueur inhabituelle des chroniques disponibles. Les axes principaux de l'évolution de la qualité des eaux de Seine entre 1943 et 1993 sont les suivants :

- le demi-siècle est découpé en trois périodes distinctes : 1943-1959, 1960-1970 et 1971-1993,
- les variables étudiées conduisent à des distributions de stations de mesure sur les cartes ACP correspondant aux distributions géographiques réelles,
- le profil de la distribution spatiale des stations de mesure évolue d'une période à l'autre.

Ces trois périodes correspondent à des évolutions marquées des activités humaines et du développement économique du bassin. La première période, caractérisée par une teneur élevée des rivières en oxygène dissous, correspond à une faible densité de population dans les zones amont et à une urbanisation encore peu développée. Les zones amonts des rivières sont essentiellement rurales.

De 1960 à 1970, Paris se dépeuple au profit de la banlieue proche. C'est l'époque de la création des grands ensembles de logements dans la zone libre de la proche banlieue et d'un développement industriel important avec l'installation de grosses industries en Seine aval. Pour les zones amonts, c'est la période de changement des pratiques culturelles avec l'abandon des assolements traditionnels et de l'élevage, et le développement de terres à céréales, de l'irrigation et de l'utilisation des fongicides, pesticides et autres produits phytosanitaires. Ainsi, sur les biplots ACP, les points tendent à se déplacer vers les variables nitrates, ammonium et chlorures, respectivement représentatives de la pollution par les cultures et par les activités humaines.

La dernière période correspond au dépeuplement de la petite couronne et au développement de l'urbanisation le long des vallées dans la grande couronne avec la création de villes nouvelles. C'est aussi l'époque d'un effort important des communes rurales pour s'équiper en réseaux d'assainissement individuels ou collectifs. Les années 80 verront le développement de grandes infrastructures: autoroute, aéroport, TGV. Malgré tous les efforts d'assainissement, la qualité des ressources se dégrade fortement. Cela est mis en évidence par l'étude ACP à travers les regroupement des points « années » autour des variables caractéristiques d'une pollution par les activités humaines.

Les résultats obtenus démontrent que les cours d'eau du bassin sont relativement préservés dans le bassin amont de la Seine, quoique les tronçons de très bonne qualité y soient rares, et davantage perturbés dans le bassin de la Seine aval. Les secteurs les plus dégradés sont situés en aval immédiat des agglomérations les plus importantes. On remarque un net gradient de dégradation des zones externes vers l'Île de France. L'impact de l'agglomération Parisienne sur la qualité de la Seine se fait sentir jusque dans l'estuaire. Malgré une politique d'assainissement des rejets urbains et industriels, et des campagnes d'information auprès des agriculteurs, la Seine est loin d'avoir retrouvé la qualité chimique qu'elle avait à la fin du siècle dernier.

L'objectif des futurs travaux est d'utiliser les données disponibles à différents pas de temps, en complément des moyennes annuelles, pour affiner l'exploitation des tendances, calculer les flux de matières à différentes échelles, et évaluer l'impact des activités humaines sur la qualité d'eau des rivières du bassin.

D'autres chroniques de données physico-chimiques, concernant des paramètres surveillés depuis moins de 20 ans (plomb, mercure, pesticides) seront également exploitées.

4. Références

Cun C., Vilaginès R., (1998), « Etude statistique de séries chronologiques de données concernant certains polluants de la Marne », Journal Européen d'Hydrologie, tome 29, fasc. 1, 65-78

Cun C., Bousquet G., Vilaginès R., (1997) « A 90 years record of water quality data of Paris Seine and Marne rivers », Aqua, J. Water SRT-Aqua, 46, 3, 150-164

Cun C., Vilaginès R., (1997) « Time series analysis on chlorides, nitrates, ammoniac and dissolved oxygen concentrations of the Seine river near Paris », Sci. Tot. Environ., 208, 59-69

Cun C., Vilaginès R., (1997), « Etude de l'évolution de la pollution des eaux des rivières Seine et Marne, en amont et aval de Paris, par analyse en composantes principales des chroniques de données de 1940 à 1993 », T.S.M., 9, septembre, 59-68