

GUIDE TECHNIQUE DE SequaPOP

VERSION 1.0

C. de Pontevès¹, R. Moillon², M. Meybeck¹, Y. Guéguen¹, S. Théry¹, M-J. Teil³,

B. Garban³, D. Ollivon³, M. Chevreuil³, M. Blanchard³, S. Azimi²

(¹ Sisyphe, UPMC ; ² CEREVE, ³ LHE-EPHE)

JANVIER 2005

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCTION..... | 3 |
| 2 | CONCEPTION GENERALE DE SEQUAPOP..... | 5 |
| 2.1 | La base de données..... | 5 |
| 2.2 | Le Système d'Information Géographique..... | 5 |
| 3 | LA BASE DE DONNEES DE SEQUAPOP..... | 6 |
| 3.1 | Le fond cartographique..... | 6 |
| 3.1.1 | Réseau hydrographique..... | 6 |
| 3.1.2 | Bassins versants unitaires..... | 6 |
| 3.1.3 | Masses d'eau..... | 7 |
| 3.1.4 | Occupation du sol..... | 7 |
| 3.1.5 | Limites administratives..... | 9 |
| 3.2 | La surveillance du milieu..... | 10 |
| 3.2.1 | Molécules étudiées..... | 10 |
| 3.2.2 | Milieu aquatique..... | 15 |
| 3.2.3 | Milieu atmosphérique..... | 21 |
| 3.3 | Les données générées..... | 23 |
| 3.3.1 | Fond cartographique..... | 23 |
| 3.3.2 | Flux d'eau et de MES..... | 24 |
| 3.4 | Les indicateurs de contamination..... | 26 |
| 4 | LES FONCTIONNALITES DE SEQUAPOP..... | 28 |
| 4.1 | La description du bassin..... | 28 |
| 4.1.1 | Caractéristiques générales..... | 29 |
| 4.1.2 | Stations de mesures POP..... | 29 |
| 4.2 | La contamination du réseau hydrographique..... | 30 |
| 4.2.1 | Fonctionnalités graphiques..... | 30 |
| 4.2.2 | Fonctionnalités cartographiques..... | 31 |
| 4.3 | La contamination atmosphérique..... | 32 |
| 4.3.1 | Variations temporelles des concentrations de polluants organiques..... | 32 |
| 4.3.2 | Variations des flux de retombées totales ou humides de contaminants organiques..... | 33 |
| 4.3.3 | Comparaison annuelle des flux de retombées de polluants organiques..... | 33 |
| 4.4 | Les outils SIG..... | 34 |
| 4.4.1 | Outils cartographiques..... | 34 |
| 4.4.2 | Outils d'export et d'impression..... | 34 |
| 5 | PERSPECTIVES..... | 35 |
| 5.1 | La base de données..... | 35 |
| 5.1.1 | Les mises à jour..... | 35 |
| 5.1.2 | Les nouvelles données..... | 35 |
| 5.2 | Le logiciel..... | 35 |
| 6 | INDEX DES FIGURES..... | 36 |
| 7 | INDEX DES TABLEAUX..... | 37 |
| 8 | BIBLIOGRAPHIE..... | 38 |

1 INTRODUCTION

A l'instar des bassins fortement anthropisés, le bassin de la Seine est soumis à différentes sources de contaminations en métaux et micropolluants organiques : industries, grandes villes mais aussi retombées atmosphériques, sources agricoles diffuses, etc. Depuis 1989, le Piren-Seine a graduellement développé une série d'études sur la contamination métallique, ses origines et ses processus dans la pluie, les effluents urbains, l'eau, les sédiments et quelques organismes aquatiques. Le Piren-Seine a également développé des études hydrologiques et sédimentaires permettant d'établir des flux de matières en suspension et donc d'accéder à des bilans de transfert de métaux. Ces études visent à compléter les connaissances issues des surveillances régulières développées dans les années 80 par le RNB (sur les sédiments), le SNS (MES), et le SIAAP. D'autres sources d'informations ont également été considérées à savoir les banques de données de l'AESN et des DRIRE sur les rejets des métaux domestiques et industriels. Partant du constat qu'il n'existait aucune centralisation de ces informations, le Piren-Seine a développé un outil SequaMet, piloté par Michel Meybeck (UMR Sisyphe, Paris VI), dont la conception a nécessité un travail de synthèse des différentes sources de contamination. La contamination est appréciée dans SequaMet à différentes échelles qui doivent permettre d'établir des comparaisons entre les différentes matrices étudiées (sédiments, MES, laisses de crues, MES piégées par des trappes...). SequaMet se présente actuellement comme une base de données géoréférencée dont les objectifs principaux sont :

- Une cartographie des fonds géochimiques des particules (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn...) sur tout le bassin hydrologique,
- Un inventaire des sources de contamination,
- Une évaluation des niveaux de contamination des particules et des flux moyens,
- La tendance et la spatialisation de la contamination métallique sur la période 1983-2003.

Sur le principe de SequaMet, et dans l'optique des préconisations de la nouvelle directive cadre sur l'eau, qui demande la réalisation d'un état des lieux, le Piren-Seine a mis en place un « système d'évaluation de la contamination par les polluants organiques persistants (SequaPOP) ». Il a été décidé de décomposer SequaPOP en plusieurs sous-systèmes experts au regard de la diversité des familles de micropolluants organiques rencontrés dans l'environnement : HAP, PCB, organochlorés et phtalates. La mise en place de SequaPOP se décompose en deux phases :

- Un inventaire des données disponibles à l'échelle du bassin versant de la Seine : le recensement complet des réseaux de producteurs de données (institutionnels et équipes de recherche du Piren-Seine) vise à dresser le panorama de la connaissance des données sur la contamination en POP ;
- Une phase d'analyse et de diagnostic de l'existant : cette étape vise à mettre en évidence les points forts et les carences de la surveillance actuelle dans le domaine des POP. A l'issue de cette phase, seules les données validées seront intégrées dans la base de données ;

Pour tous les sous-systèmes, la mise en place de SequaPOP répondra à plusieurs attentes sur la réalisation de bilans de transferts à l'échelle du bassin de la Seine et l'estimation des sources des contaminations. En effet, en plus de la centralisation et de la spatialisation des données, un objectif à plus ou moins court terme de SequaPOP est une évaluation, fiable, des niveaux de contamination des MES pour évaluer les flux des différents POP à l'échelle du bassin de la Seine. Ces flux permettront d'évaluer la contamination de fond en HAP dans le bassin de la Seine en étudiant des stations très à l'amont du bassin et d'apprécier l'impact des activités anthropiques (plus particulièrement l'agglomération parisienne) sur la pollution en HAP dans la Seine par une comparaison entre des stations situées à l'amont et l'aval de Paris, par exemple. Cependant, l'échantillonnage des MES est complexe et difficile à mettre en œuvre. Ainsi, depuis 1994, le Piren-Seine a développé, une approche originale pour évaluer les flux de métaux transportés par les différents cours d'eau du bassin de la Seine en utilisant les laisses de crues fraîchement déposées comme indicateurs de la contamination métallique dans les MES (De Marsily *et al.*, 1998; Horowitz *et al.*, 1999). Ces dépôts s'effectuent sur les plaines alluviales, les plans inclinés et escaliers descendant à la rivière, aux périodes des plus hautes eaux qui sont aussi les plus turbides. Des travaux récents de Gocht *et al.* (2001), sur la comparaison des distributions et des teneurs en HAP dans des MES, des sédiments et des laisses de crues du Rhin, montrent que les laisses de crues pourraient être aussi utilisées pour les HAP comme

indicateur de la contamination des MES. Aucune investigation de ce type n'a été réalisée pour les HAP dans le bassin de la Seine.

La phase de recensement des données disponibles auprès des différentes équipes de recherche du Piren-Seine (Cereve, LHE-EPHE, QHAN, etc.) et des partenaires institutionnels (RNB, SIAAP et VNF entre autre) est en cours de réalisation. Au-delà des objectifs de recherche, SequaPOP permettra de proposer des améliorations des systèmes actuels de collecte de données en insistant sur une harmonisation des techniques d'analyse (faut-il travailler sur le total ou faire la distinction dissous-particulaire pour les eaux, par exemple?), des molécules, quitte à se démarquer des textes réglementaires, en s'appuyant sur des bases scientifiques. Cette étape vise à identifier les mesures à adopter afin de constituer un outil complet et fiable de suivi des polluants organiques persistants à l'échelle du bassin de la Seine. Ce travail pourrait être une expérience pilote adaptable à l'échelle nationale sur les autres grands bassins hydrographiques, dans l'optique des préconisations de la nouvelle directive cadre sur l'eau, sur la réalisation d'un état des lieux d'ici 2015, et à l'instar de ce qui a été développé par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable sur le bilan diagnostic des réseaux de données sur l'eau.

2 CONCEPTION GENERALE DE SequaPOP

Le logiciel SequaPOP est développé en Microsoft Visual Basic 6.0[®]. L'extension ESRI MapObjects 2.1[®] est ajoutée pour la partie cartographique. Le système de gestion de base de données utilisé est Microsoft Access[®]. L'aide en ligne est réalisée grâce au logiciel libre HelpMaker 7.1.385.

2.1 La base de données

Le Système de gestion de base de données permet une mise en relation aisée des différentes tables et également la création de requêtes permettant la mise en forme et la mise à jour des données. L'architecture de la base de données est classique : chaque enregistrement possède un identifiant unique (« **ID_** ») dans chaque table qui permet de relier les tables entre elles. Ainsi, lorsque qu'une information est sélectionnée dans l'une des tables, l'ensemble des informations concernant l'enregistrement choisi est interrogeable automatiquement dans les autres tables. Cette base de données possède un mot de passe pour éviter toute manipulation qui empêcherait l'utilisation du logiciel.

2.2 Le Système d'Information Géographique

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) appliqués à l'hydrologie présentent des spécificités liées aux caractéristiques propres des réseaux hydrographiques. En effet, la définition d'un réseau implique une imbrication de plusieurs informations de différentes natures.

Nous avons tout d'abord l'**arc hydrologique**, qui correspond à une **information linéaire** définie par un tronçon de rivière entre deux confluences. L'ensemble des arcs forme le **chevelu hydrographique** qui peut être caractérisé par différentes classifications telles que les ordres de Strahler, ou le code VERDIN mettant en évidence la **polarisation du réseau**, c'est-à-dire l'importance des liaisons amont-aval dues à l'écoulement. On doit donc connaître, en tout point du réseau, le sens d'écoulement afin de connaître, pour un point considéré, les trajets fluviaux amont et aval. Ces derniers seront définis par un sens et par une longueur (pouvant s'exprimer en **Point Kilométrique (PK)** par rapport à une référence définie ou flottante) ou encore une pente...

D'autre part, un arc comprend également une **information surfacique** correspondant au bassin versant drainé par le cours d'eau. Deux types de bassins versants sont pris en compte dans SequaPOP : les **Bassins Versants Unitaires (BVU)** et les **bassins versants amonts totaux**. Les premiers correspondent à la surface drainée par un seul arc hydrologique tandis que les seconds représentent la somme de tous les BVU en amont du point choisi et correspondent donc à la définition hydrologique d'un bassin versant. De plus, ces **espaces géographiques** sont caractérisés par des données telles que la population, l'occupation des sols, le relief, la lithologie ou encore les écoulements moyens qui sont définis à une résolution donnée (pixel, BVU, moyenne...).

Enfin, par l'introduction de stations de mesures, nous arrivons à une **information ponctuelle** sur le réseau. Celle-ci engendre et nécessite une connaissance plus précise. En effet, les points d'intérêts ne sont pas nécessairement des points de confluence et il faut donc avoir accès à une résolution plus fine ! L'une des limitations de SequaPOP est ici identifiée : la résolution maximale est le BVU. Ainsi, deux points qui se situent sur un même BVU sont indissociables en terme d'informations surfacique et linéaire. En revanche, chaque station va posséder une **information ponctuelle spécifique** qui permettra de l'identifier telle que ses analyses, son PK...

3 LA BASE DE DONNEES DE SequaPOP

3.1 Le fond cartographique

3.1.1 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique utilisé à ce jour dans l'application est un réseau simplifié. Il a été réalisé par D. Brunstein (UMR Sisyphe) de façon à assurer une cohérence du réseau notamment lors des requêtes spatiales amont-aval. De ce fait, les ordres de Strahler calculés sont différents de ceux couramment déterminés sur les cartes au 1/100 000°. Ainsi, la Seine n'est ici que d'ordre Strahler 7 au niveau de l'estuaire, au lieu de 8 comme dans d'autres analyses géographiques. En effet, ce réseau ne comporte pas l'intégralité des arcs hydrologiques dans un souci de simplification des traitements de SIG et de correspondance à la couche des bassins unitaires existante.

3.1.2 Bassins versants unitaires

Cette couche représente l'ensemble des bassins versants, arc par arc, du réseau hydrographique du bassin de la Seine. Entièrement digitalisée à la main par D. Brunstein (UMR Sisyphe), cette couverture SIG représente la surface drainée par une entité hydrologique d'une confluence à une autre. Son utilisation facilite grandement les traitements informatiques mais présente l'inconvénient de ne pas être complète. En effet, le calcul des surfaces, des populations, des lithologies de surface... ne sera abordé qu'à l'échelle du bassin versant unitaire (BVU). Seules les surfaces des bassins versants des stations PIREN et RNB ont été déterminées directement à l'aide du Modèle Numérique de Terrain (MNT). On dispose ainsi des surfaces drainées exactes et différentes lorsque deux stations se situent sur le même BVU.

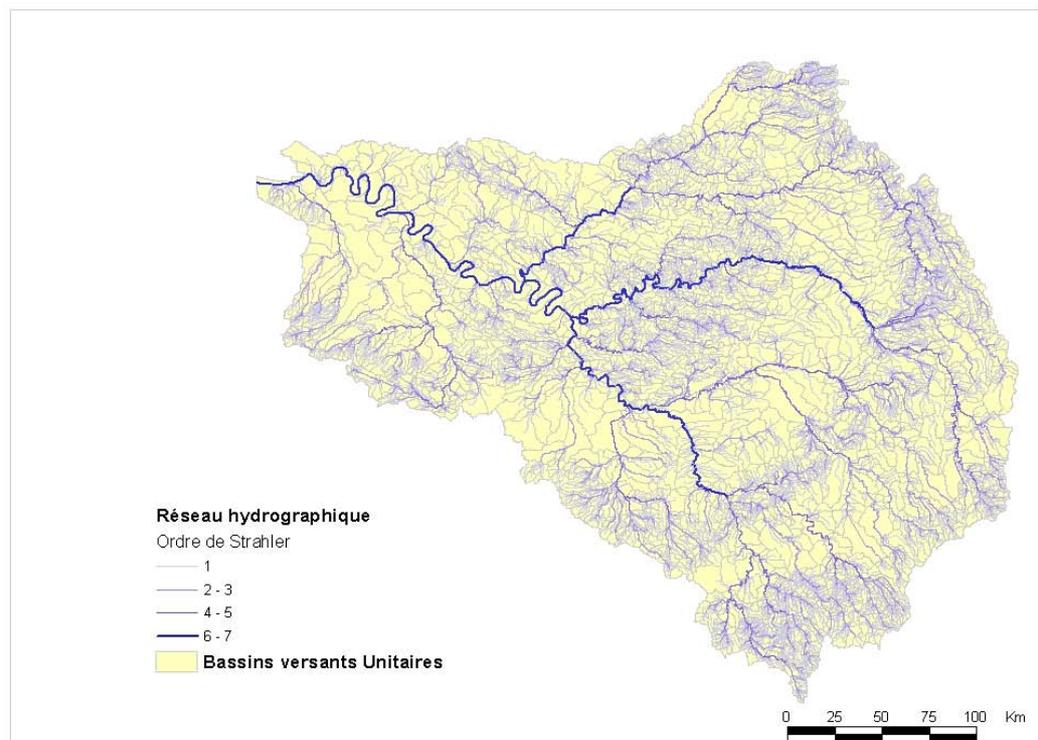


Figure 1 : Les bassins versants unitaires et le réseau hydrographique généré par le PIREN-Seine

3.1.3 Masses d'eau

Au sens de la Directive Cadre sur l'Eau, une masse d'eau rivière se définit comme « une portion significative de cours d'eau, continue du point de vue hydrographique et homogène du point de vue de ses caractéristiques naturelles et des pressions anthropiques qu'elles subit ». La définition des types de masses d'eau repose sur un croisement entre la taille du cours d'eau (regroupement des rangs de Strahler) et l'appartenance à une hydroécocorégion (Figure 2). Sur cette base, 37 types de masses d'eau rivières ont été identifiés. Le bassin de la Seine a été découpé en 415 masses d'eau de surface.

Ces masses d'eau ont été intégrées dans le logiciel parallèlement aux Bassins Versants Unitaires (BVU) générés par SequaPOP. Il existe donc deux couches : les bassins versants correspondant aux masses d'eau et le réseau hydrologique issu de ce découpage. En revanche, ces deux couches n'ont pas d'interactivité avec les outils de SequaPOP : les calculs par bassin amont, par exemple, se font seulement sur les BVU. Elles n'ont, pour l'instant qu'une fonction de visualisation.

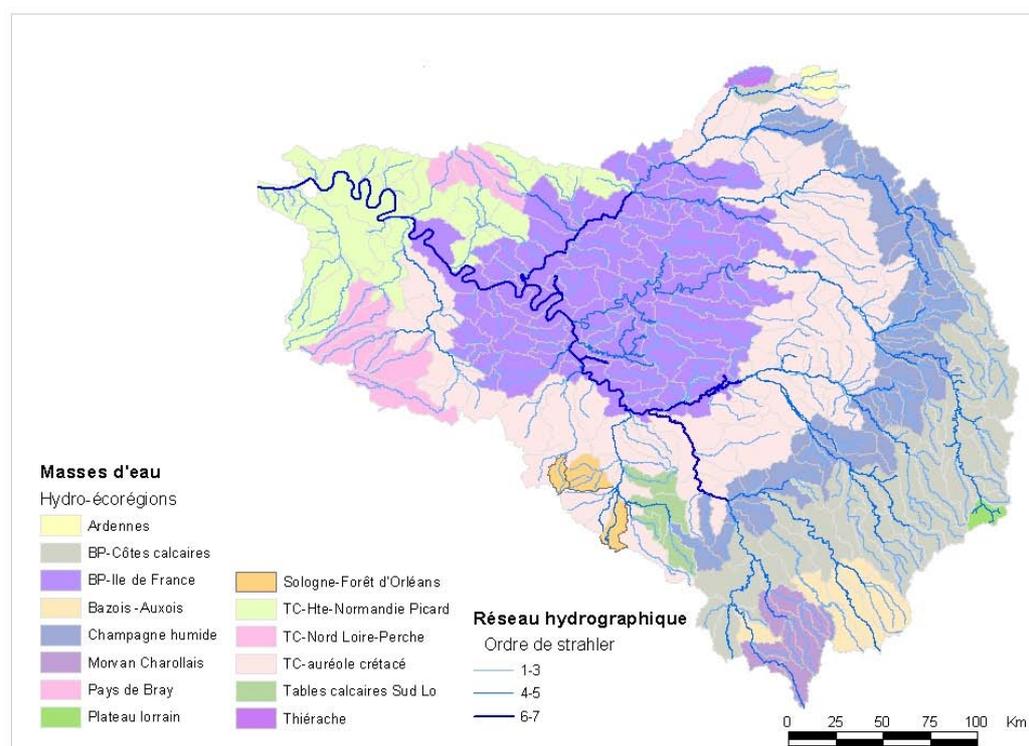


Figure 2 : Les 415 masses d'eau et leur répartition en hydro-écocorégions

3.1.4 Occupation du sol

Le programme CORINE land cover repose sur une nomenclature standard hiérarchisée à 3 niveaux et 44 postes répartis selon 5 grands types d'occupation du territoire (tableau 1) (www.ifen.fr).

A partir de ces classes, un regroupement en 8 catégories réalisé à l'occasion du développement de SequaMET, est réutilisé dans un premier temps pour SequaPOP. Dans une version suivante, il serait intéressant de réorganiser les classes, notamment de rediviser la classe zone urbaine, essentiel pour les polluants organiques. Les couleurs correspondent à celles affichées à l'écran dans SequaPOP et sur la figure 5.

Agrégation de classes :

| | | |
|-----------------------------|---|--------------|
| Zones urbaines |  | = Corine 1 |
| Terres arables |  | = Corine 2.1 |
| Cultures permanentes |  | = Corine 2.2 |
| Prairies |  | = Corine 2.3 |
| Zones agricoles hétérogènes |  | = Corine 2.4 |
| Forêts |  | = Corine 3 |
| Zones humides |  | = Corine 4 |
| Surfaces en eau |  | = Corine 5 |

Tableau 1: les classes CORINE Land Cover

| | |
|--|---|
| 1. Territoires artificialisés | 3. Forêts et milieux semi-naturels |
| 1.1. Zones urbanisées | 3.1. Forêts |
| 1.1.1. Tissu urbain continu | 3.1.1. Forêts de feuillus |
| 1.1.2. Tissu urbain discontinu | 3.1.2. Forêts de conifères |
| 1.2. Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication | 3.1.3. Forêts mélangées |
| 1.2.1. Zones industrielles et commerciales | 3.2. Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée |
| 1.2.2. Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés | 3.2.1. Pelouses et pâturages naturels |
| 1.2.3. Zones portuaires | 3.2.2. Landes et broussailles |
| 1.2.4. Aéroports | 3.2.3. Végétation sclérophylle |
| 1.3. Mines décharges et chantiers | 3.2.4. Forêt et végétation arbustive en mutation |
| 1.3.1. Extraction de matériaux | 3.3. Espaces ouverts sans ou avec peu de végétation |
| 1.3.2. Décharges | 3.3.1. Plages dunes et sable |
| 1.3.3. Chantiers | 3.3.2. Roches nues |
| 1.4. Espaces verts artificialisés non agricoles | 3.3.3. Végétation clairsemée |
| 1.4.1. Espaces verts urbains | 3.3.4. Zones incendiées |
| 1.4.2. Équipements sportifs et de loisirs | 3.3.5. Glaciers et neiges éternelles |
| 2. Territoires agricoles | 4. Zones humides |
| 2.1. Terres arables | 4.1. Zones humides intérieures |
| 2.1.1. Terres arables hors périmètres d'irrigation | 4.1.1. Marais intérieurs |
| 2.1.2. Périmètres irrigués en permanence | 4.1.2. Tourbières |
| 2.1.3. Rizières | 4.2. Zones humides maritimes |
| 2.2. Cultures permanentes | 4.2.1. Marais maritimes |
| 2.2.1. Vignobles | 4.2.2. Marais salants |
| 2.2.2. Vergers et petits fruits | 4.2.3. Zones intertidales |
| 2.2.3. Oliveraies | 5. Surfaces en eau |
| 2.3. Prairies | 5.1. Eaux continentales |
| 2.3.1. Prairies | 5.1.1. Cours et voies d'eau |
| 2.4. Zones agricoles hétérogènes | 5.1.2. Plans d'eau |
| 2.4.1. Cultures annuelles associées aux cultures permanentes | 5.2. Eaux maritimes |
| 2.4.2. Systèmes culturaux et parcellaires complexes | 5.2.1. Lagunes littorales |
| 2.4.3. Territoires principalement occupés par l'agriculture avec présence de végétation naturelle importante | 5.2.2. Estuaires |
| 2.4.4. Territoires agro-forestiers | 5.2.3. Mers et océans |

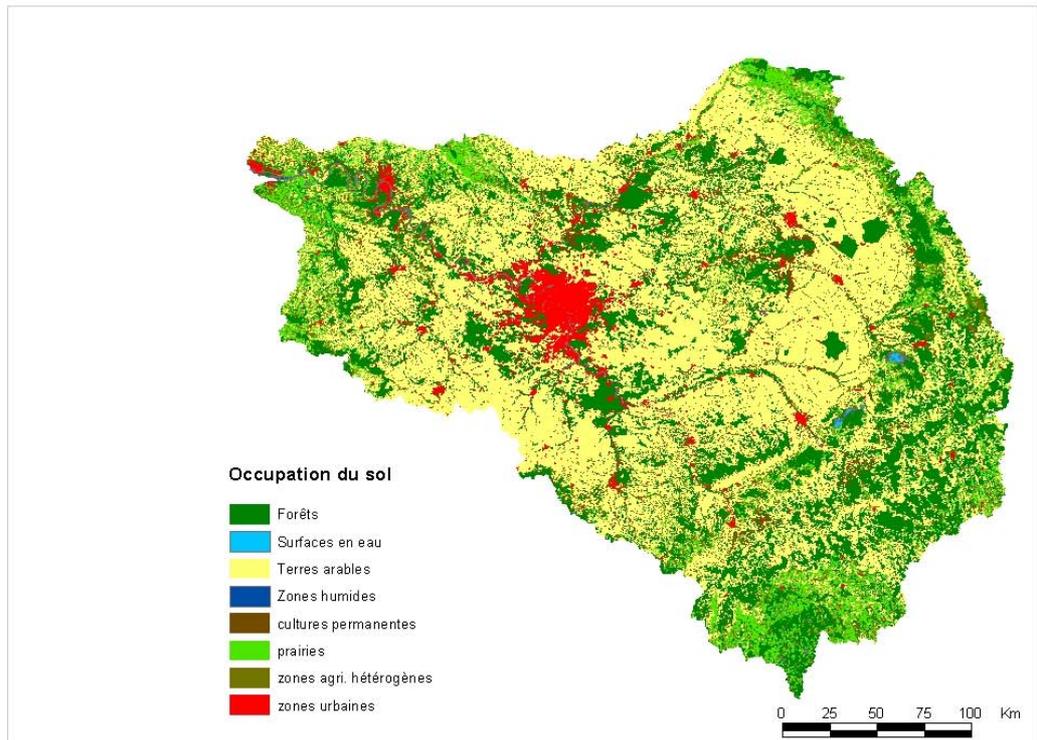


Figure 3 : Carte de l'occupation des sols par agrégation des classes CORINE Land Cover

3.1.5 Limites administratives

Ce sont :

les communes issus du laboratoire de Démographie humaine de l'EHESS (Claude Motte, 1997),

Les cantons générées à partir des communes par le PIREN-Seine,

les départements issus de la base de données GEOFLA de l'IGN.

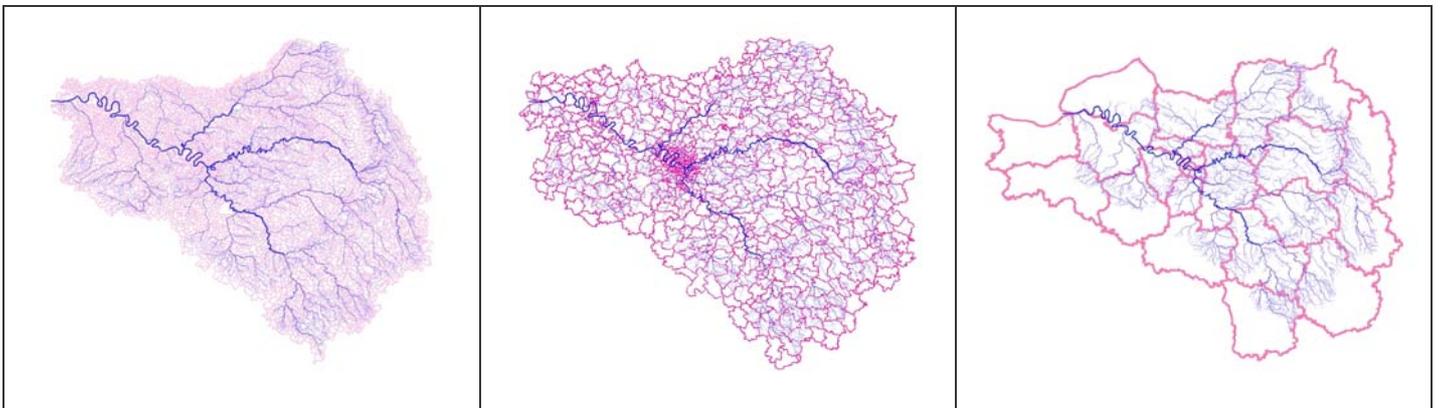


Figure 4 : Communes, cantons et départements du bassin de la Seine

3.2 La surveillance du milieu

SequaPOP propose d'étudier des molécules pilotes, représentatives du comportement de la contamination de l'environnement par 4 familles de polluants organiques : les PCB, les HAP, les organochlorés (OC) et les phtalates(PHT). De nombreuses stations de mesures de la surveillance du milieu sont intégrées. On peut les classer en fonction du type milieu dans lequel a eu lieu le prélèvement : le milieu aquatique et le milieu atmosphérique (dans un premier temps).

3.2.1 Molécules étudiées

3.2.1.1 Les Polychlorobiphényles (PCB)

Ces composés de synthèse industrielle ont été utilisés comme solvants, plastifiants et isolants. Bien que leur production industrielle ait aujourd'hui cessé et que leur utilisation soit interdite depuis 1986, ils persistent dans l'environnement en raison de leur stabilité physico-chimique particulièrement.

Ils sont constitués d'un squelette biphenyle sur lequel sont fixés des atomes de chlore en position et en nombre variables. Ainsi se distinguent différents congénères ayant des caractéristiques physico-chimiques particulières:

- selon le nombre d'atomes de Cl:
 - leur solubilité aqueuse diminue avec l'augmentation du nombre d'atomes de Cl (de 6 mg/L à 10-3µg/L);
 - les congénères les moins chlorés sont plus facilement dégradés (photolyse, biodégradation).
- selon la position des atomes de Cl, la forme des molécules varie:
 - les non ortho-substitués sont coplanaires, ils sont peu répandus dans l'environnement et sont les plus toxiques;
 - les mono-orthosubstitués sont dits semi-coplanaires, ils sont très répandus et sont encore toxiques;
 - enfin, les ortho-substitués ont une forme non plane, ils sont également très répandus mais leur toxicité est moindre.

Ainsi la législation a retenu 7 composés représentatifs des composés déterminés dans les matrices environnementales (figure 5)

- ✓ le n° 28 (3 Cl en 2, 4, 4') est mono- orthosubstitué
- ✓ le n° 52 (4 Cl en 2, 2', 5, 5') est di-orthosubstitué
- ✓ le n° 101 (5 Cl en 2, 2', 4, 5, 5') est di-orthosubstitué
- ✓ le n° 118 (5 Cl en 2, 3', 4, 4', 5) est mono-orthosubstitué
- ✓ le n° 138 (6 Cl en 2, 2', 3, 4, 4', 5) est di-orthosubstitué
- ✓ le n° 153 (6 Cl en 2, 2', 4, 4', 5, 5)est di-orthosubstitué
- ✓ le n° 180 (7 Cl en 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5') est di-orthosubstitué

Les résultats qui sont maintenant exprimés en congénères individuels, en $\Sigma 7$ congénères de la norme en vigueur (qui sont les composés précités), étaient auparavant exprimés en concentration totale de PCB, définis en référence à des mélanges industriels de type Aroclor de composition déterminée (Aroclor 1242, Aroclor 1254, Aroclor 1260).

SequaPOP prend en compte la somme des 7 congénères et la concentration totale en équivalent Aroclor.

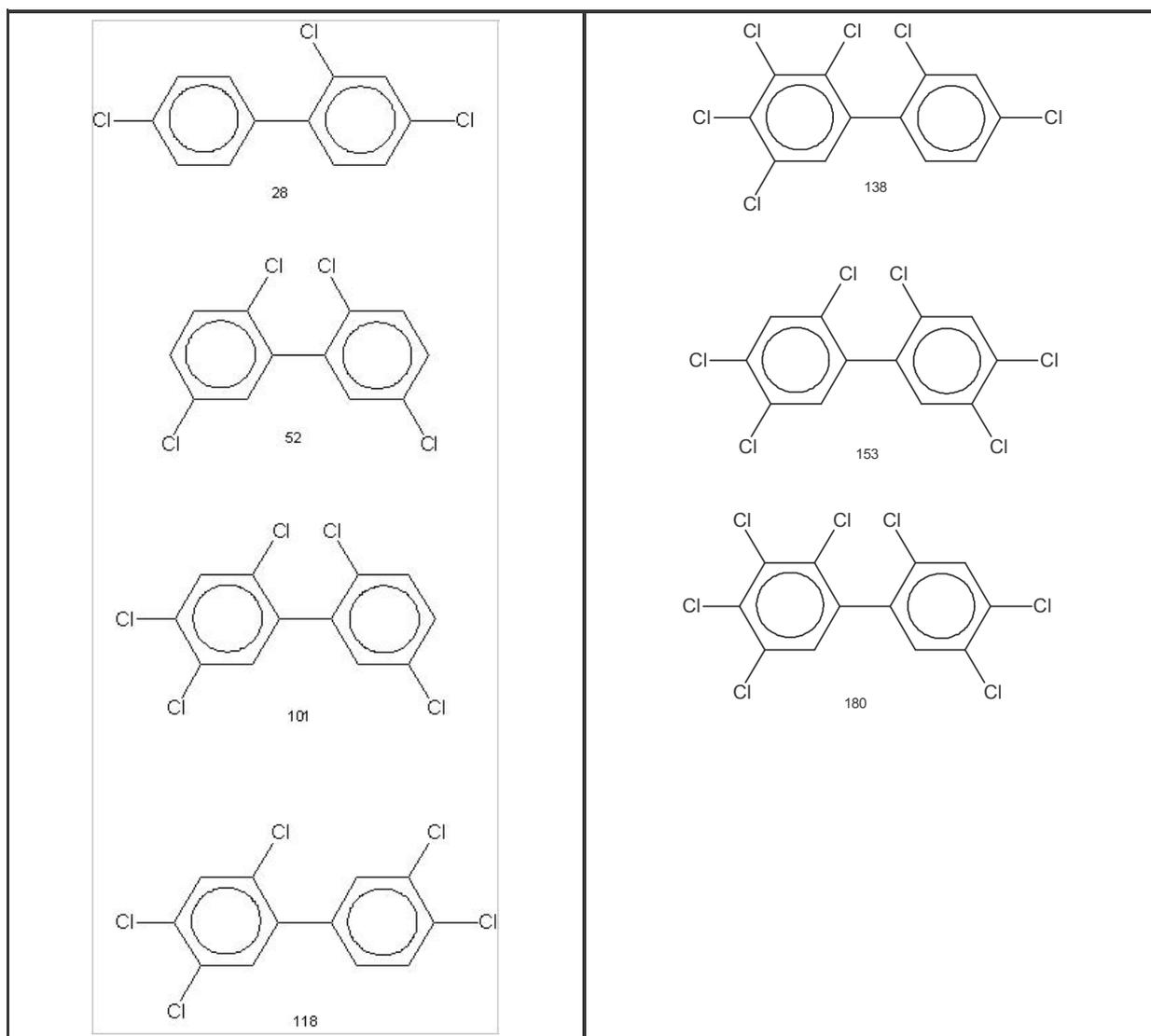


Figure 5 : structure détaillée des 7 congénères

3.2.1.2 Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des composés de synthèse accidentelle générés pendant la pyrolyse ou la combustion incomplète de matières organiques. Ils figurent également à l'état de traces dans la composition des combustibles fossiles. Ces procédés comprennent l'incinération des déchets agricoles, la combustion du bois, du charbon ou des ordures ménagères mais également le fonctionnement des moteurs à essence ou des moteurs diesels. Les HAP sont rarement présents à de très fortes concentrations dans l'environnement et leur particularité est surtout d'être décelés sous forme de mélanges plus ou moins complexes. En effet, compte tenu de la diversité des sources de production de HAP, c'est un mélange complexe de centaines de composés chimiques, qui est retrouvé dans l'environnement. Il inclut des HAP, des dérivés de HAP tels que les nitro HAP, les composés oxygénés et les composés hétérocycliques. Les HAP sont biodégradés dans les couches superficielles du sol et la majorité des HAP présents dans les eaux de surface sont issus des dépôts atmosphériques de temps sec et de temps de pluie qui sont repris par le ruissellement urbain avec la reprise des fuites de produits pétroliers épandus sur la chaussée. Dans les eaux, la plupart des HAP, composés peu solubles, sont adsorbés sur les sédiments (OMS, 1996). Enfin, il est important de

noter que d'autres apports tels que la combustion de cigarette contribuent à l'augmentation des HAPs présents dans le milieu intérieur.

16 HAP sont retenus dans SequaPOP :

Tableau 2: liste des 16 HAP pris en compte dans SequaPOP

| Nom | element | M g/mol | Cycle aromatique | N°CAS | N°EU | Formule |
|------------------------|---------|---------|------------------|----------|-----------|---------|
| Anthracène | ANT | 178 | 3 | 120-12-7 | 204-371-1 | C14H10 |
| Pyrène | PYR | 202 | 4 | 129-00-0 | | C16H10 |
| Benzo[g,h,i]pérylène | BghiP | 276 | 6 | 191-24-2 | 205-883-8 | C22H12 |
| Indeno[1,2,3-cd]pyrène | IcdP | 276 | 6 | 193-39-5 | 205-893-2 | C22H12 |
| Benzo[b]fluoranthène | BbF | 252 | 5 | 205-99-2 | 205-911-9 | C20H12 |
| Fluoranthène | FTH | 202 | 4 | 206-44-0 | 205-912-4 | C16H10 |
| Benzo[k]fluoranthène | BkF | 252 | 5 | 207-08-9 | 205-916-6 | C20H12 |
| Acénaphthylène | ACY | 152 | 3 | 208-96-8 | | C12H8 |
| Chrysène | CHR | 228 | 4 | 218-01-9 | | C18H12 |
| Benzo[a]pyrène | BaP | 252 | 5 | 50-32-8 | 200-028-5 | C20H12 |
| Dibenzo[a,h]anthracène | DahA | 278 | 5 | 53-70-3 | | C22H14 |
| Benz[a]anthracène | BaA | 228 | 4 | 56-55-3 | | C18H12 |
| Acénaphène | ACE | 154 | 3 | 83-32-9 | | C12H10 |
| Phénantrène | PHE | 178 | 3 | 85-01-8 | | C14H10 |
| Fluorène | FLU | 166 | 3 | 86-73-7 | | C13H10 |
| Naphtalène | NAP | 128 | 2 | 91-20-3 | 202-049-5 | C10H8 |

On retrouve souvent dans les mesures, la combinaison de plusieurs HAP. Les concentrations totales suivantes sont prises en compte dans SequaPOP :

- ✓ Somme des 16 HAP : NAP, ACY, ACE, FLU, PHE, ANT, FTH, PYR, BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, DahA, BghiP, IcdP
- ✓ Somme des 14 HAP : ACE, FLU, PHE, ANT, FTH, PYR, BaA, CHR, BbF, BkF, BaP, DahA, BghiP, IcdP
- ✓ Somme des 6 eaux : FTH, BbF, BkF, BaP, BghiP, IcdP
- ✓ Somme des 3 boues : FTH, BbF, BaP
- ✓ Somme des 6 cancérigènes : BaA, BbF, BkF, BaP, DahA, IcdP

3.2.1.3 Les Organochlorés

Sont pris en compte dans l'application, l'hexachlorocyclohexane (HCH), le dichlorodiphényltri-chloroéthane (DDT) et son produit de dégradation (DDE) et l'hexachlorobenzène (HCB).

- l'hexachlorocyclohexane (HCH)

Il existe plusieurs isomères de l'HCH qui diffèrent par la position des chlores par rapport au cycle hexanique. L'isomère γ ou lindane est le seul qui possède des propriétés insecticides. Son mode d'action se situe au niveau de la transmission de l'influx nerveux par une antagonisation GABAergique via les canaux à chlore.

Les préparations dites de «grade technique» contiennent 64 % de α -HCH, 13 % de γ -HCH, 10 % de β -HCH et 9 % de δ -HCH. Dans l'atmosphère, sous l'action des radiations lumineuses (> 230 nm), une partie du lindane se transforme en isomère α .

Le lindane est un insecticide de large spectre utilisé pour protéger les cultures horticoles et de plein champ et parfois en foresterie. Il est également employé contre les parasites des silos et des greniers.

En raison de ses effets cancérogènes chez les rongeurs, il a été interdit d'usage en aérosol en 1972, dans les pays industrialisés mais se trouvait encore dans les préparations protectrices de semences. En 1999, il a été totalement interdit en France. Cependant, il est encore utilisé dans les pays en développement et au niveau du commerce international, sous l'égide du programme des Nations Unies, il fait partie des produits actuellement concernés par la « PIC procedure » qui consiste en un consentement éclairé préalable à son achat. On estime actuellement la quantité de lindane libérée annuellement dans l'environnement à l'échelle mondiale à 38000 t.

Ces deux composés sont semi-volatils et rémanents et du fait de leur utilisation dans les régions chaudes du globe, on les retrouve dans l'environnement (par transfert et lessivage atmosphérique) jusque dans des zones éloignées telles que les régions polaires.

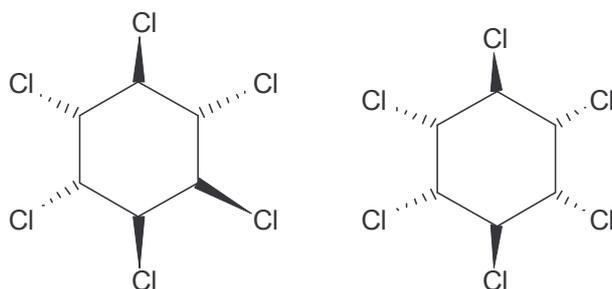


Figure 6: 2 isomères de l'hexachlorocyclohexane : α -HCH et le γ -HCH (lindane)

- DDT et pp'DDE

Symbole de la lutte chimique, le dichlorodiphényltrichloroéthane appelé aussi 1,1'-(2,2,2-trichloroéthylidène)bis[4-chlorobenzène] (DDT) fut synthétisé pour la première fois en 1874 et utilisé à grande échelle à partir de 1940. Son mode d'action est similaire à celui du lindane. Depuis les années 1970, il est interdit dans la plupart des pays industrialisés mais on l'utilise encore dans de nombreux pays en voie de développement en raison du coût élevé et de la moindre efficacité des produits de substitution.

Son principal produit de dégradation est le dichlorodiphényldichloroéthane appelé aussi 1,1'-(2,2-dichloroéthylidène)bis[4-chlorobenzène] (pp'DDE) qui n'a plus de propriétés insecticides (figure 7).

Ces deux composés sont semi-volatils et rémanents et du fait de leur utilisation dans les régions chaudes du globe, ce sont les composés les plus ubiquistes dans tous les écosystèmes.

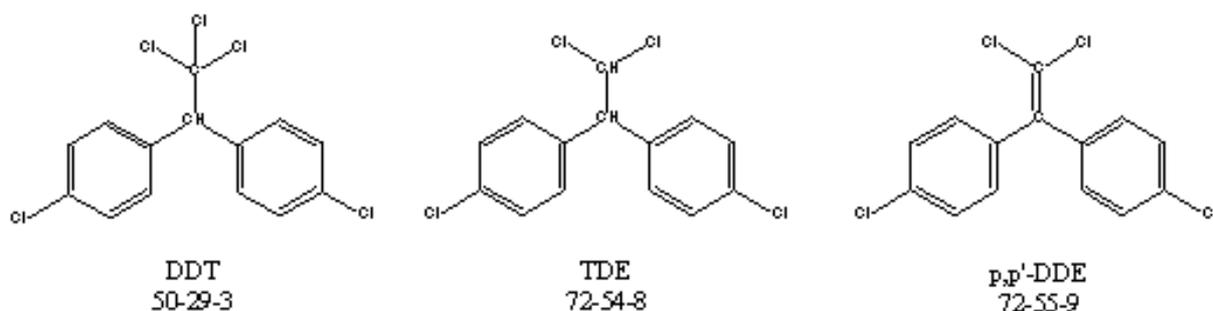


Figure 7 : Structure du DDT et ses produits de dégradation (TDE et pp'DDE)

- L'hexachlorobenzène

L'hexachlorobenzène (HCB) est un agent fongicide interdit depuis les années 1970 (figure 8). Cependant, il peut être produit accidentellement au cours de certaines combustions (incinérateurs) ou par fuites lors de certaines synthèses industrielles (production de caoutchouc).

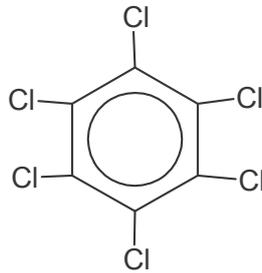


Figure 8: Structure de l'HCB

3.2.1.4 Les Phtalates

Les phtalates sont de remarquables plastifiants entrant notamment dans la composition du polychlorure de vinyle (PVC), auquel ils confèrent toute la flexibilité voulue et facilitent la mise en forme de matériaux par les industries de thermoplastie. Ils sont présents partout dans notre environnement. Bien que biodégradables, ils ont tendance, du fait de leur caractère hydrophobe, à s'accumuler dans les sédiments où ils peuvent persister plus longtemps. Bien que la toxicité aigue de ces composés soit relativement faible, cette famille entre dans la liste des 33 substances prioritaires (tableau 3).

Tableau 3: liste des phtalates pris en compte dans SequaPOP

| Nom | Abréviation |
|-------------------------|-------------|
| Di-méthyl-phtalate | DMP |
| Di-éthyl-phtalate | DEP |
| Di-n-butyl-phtalate | DnBP |
| Di-n-propyl-phtalate | DnPP |
| Butyl-benzyl-phtalate | BBP |
| Di-éthyl/hexyl-phtalate | DEHP |
| Di-n-octyl-phtalate | DnOP |

3.2.2 Milieu aquatique

3.2.2.1 PIREN-Seine

Les travaux du PIREN-Seine sur les polluants organiques depuis 1989 ont été très divers tant par leurs objectifs que par les milieux étudiés. Le tableau suivant synthétise l'ensemble des campagnes de mesures du PIREN-Seine ou d'études qui lui sont antérieures :

Tableau 4 : Campagnes de mesures aquatiques du PIREN-Seine et autres laboratoires depuis 1984 à 2003

| Date | Laboratoire | Média | Emprise | HAP | PCB/OC | PHT |
|-------------|-------------|-----------------------|---------------------------------------|-----|--------|-----|
| 1984-1988 | LHE | Sédiments | Ivry à Porcheville | | * | |
| 1991-1992 | LHE | Sédiments | Ivry à Porcheville | | * | |
| 1986-87 | LHE | Eau brute | Orly, Pont de Sully | | * | |
| 1994-95 | LHE | MES (trappes) | amont et aval de Paris | | * | |
| 1991 | LHE | Perches et gardons | Cannes écluse et Poses | | * | |
| 01/04/91 | LHE | Gardon | Entre Marnay et Poses | | * | |
| 20/10/92 | LHE | Dreissenés | Ivry à Poses | | * | |
| 01/05/93 | LHE | Organismes aquatiques | Marnay, Poissy | | * | |
| 01/10/93 | LHE | Organismes aquatiques | Marnay, La tombe, Guernes, Poses | | * | |
| 24/06/94 | LHE | Sédiments | StMaurice, Port à l'anglais, St Cloud | * | * | |
| 1994 | Sisyphe | Laisses de crues | | | * | |
| 1995 | LHE | MES, sédiments | Pont d'Ivry à Porcheville | * | | |
| 07/95-09/95 | CEREVE | MES | | * | | |
| 1996 | LHE | Gardons | Marnay, Epinay, Poses | * | * | |
| Janv 2000 | Sisyphe | Laisses de crues | | * | | |
| 2002-2003 | LHE | Eau brute | Alfortville à Conflans Ste Honorine | | | * |
| 02/03-04/03 | CEREVE | SPMD | Orgeval, Andrésy, St Maurice | * | | |

- 1984/1988-1991/1992 – sédiments :

Deux séries d'échantillonnages sur sédiments ont eu lieu entre Ivry et Porcheville : de 1984 à 1988 puis en septembre 1991 et 1992 afin d'étudier l'impact de l'agglomération parisienne sur l'évolution de la contamination des sédiments de la Seine par les PCB (Chevreuil *et al.*, 1998).

- 1986/1987-1994/1995 : trappes à MES :

Plusieurs séries d'échantillonnages ont été effectuées aux alentours de Paris. En 1991 au pont de Sully, en 1992 à Orly, sur eau brute, d'avril à juin 1994 et 1995 à St Maurice, Port à l'Anglais et St Cloud sur des trappes à MES. L'objectif était de calculer un bilan des entrées de polluants (PCB et OC) dans Paris, d'étudier le flux total sur eau brute et le flux de composés adsorbés sur MES à travers Paris sur un an et enfin d'étudier l'influence des conditions hydriques sur les flux de polluants sur la Seine (Teil *et al.*, 1998).

- 1991- Perches et gardons :

Le but de cette étude était de déterminer les conditions d'utilisation de 2 espèces de poissons (Perches et gardons) comme bioindicateurs. L'étude a été réalisée sur 2 sites situés en amont et en aval de l'agglomération parisienne : Cannes écluse et Poses, en avril-mai d'une part, en octobre d'autre part (Chevreuil *et al.*, 1995).

- 01/04/1991 – Gardons :
Ces mesures ont été effectuées en Seine sur 9 sites entre Marnay et Poses sur des poissons (*Rutilus rutilus*), afin de suivre l'impact des rejets urbains sur la contamination en micropolluants organiques (PCB et OC) de l'écosystème Seine. Des spectres de contamination ont également été analysés afin de préciser la nature et l'ancienneté des apports en composés organochlorés à la Seine (Chevreuil *et al.*, 1995).
- 1991-1992 – MES et sédiments :
L'objectif de cette étude réalisée entre Ivry et Porcheville de 1991 à 1992 sur des sédiments et des matières en suspension, était de donner un aperçu de la distribution des 16 HAP dans la Seine et dans les sédiments.
- 20/10/1992- Dreissenés :
L'objectif de cette campagne de mesures était d'étudier les relations dans le temps et dans l'espace entre les concentrations de différents micropolluants organiques dans la colonne d'eau et les teneurs mesurées dans les dreissenés (*Zebra mussel*). Les 8 sites de mesures sont localisés entre Ivry et Poses, avec un site urbain faisant l'objet d'un suivi simultané sur eau brute et mollusque durant 2 mois (Chevreuil *et al.*, 1996).
- 01/05/1993 – Organismes aquatiques :
Des mesures sur de nombreux types d'organismes de rivière (perche, Myriophylle, Cératophylle, Chironome, Anodonte, maludine breme, Gardons) ont été réalisées sur un site à l'amont (Marnay) et un site à l'aval (Poissy) de Paris, afin d'analyser la distribution de PCB et pesticides dans ces organismes suivant le niveau trophique (Teil *et al.*, 1996).
- Octobre 1993- Organismes aquatiques :
Des mesures en PCB et pesticides ont été réalisées en différents endroits de la région parisienne (Marnay, La tombe, Guernes, Poses) afin de préciser l'importance de la bioaccumulation des PCB mono-orthosubstitués chez une espèce cible de poisson cyprinidé, le gardon (*Rutilus rutilus*) (Blanchard *et al.*, 1997).
- 24/06/1994 – Sédiments :
Ces mesures ont été réalisées pour étudier la distribution des PCB et des HAP sur de carottes de sédiments de 60 cm de profondeur, en trois sites de la région parisienne : St Maurice, Port à l'Anglais et St Cloud, en juin 1994 (Ollivon *et al.*, 2002).
- 1996 – Gardons :
L'objectif de cet échantillonnage dans 3 sites en amont et aval de Paris (Marnay, Epinay Poses) sur des gardons, est d'établir la relation existant entre le niveau de contamination des cyprinidés par les PCB et les HAP et l'activité EROD (cytochrome P450) qui est une activité enzymatique de détoxification induite par ces composés toxiques (Blanchard *et al.*, 1999).
- 2002-2003 : Eau brute :
L'échantillonnage en eau brute a été réalisée entre Alfortville et Conflans Ste Honorine entre 2002 et 2003, afin d'explorer d'une part la répartition spatiale de la pollution des phtalates dans les rivières aux alentours de Paris (Seine, Marne et Oise) , puis d'étudier la répartition entre la phase dissoute et particulaire des phtalates et enfin considérer l'impact des conditions hydrologiques sur le flux exporté.
- 2003-SPMD :
Cette étude a pour objectif de tester l'efficacité de membranes SPMD à concentrer les HAP dans différents environnements contaminés. Elle a été effectuée entre février et avril 2003 à Orgeval, St Maurice et Andrésey (Miège *et al.*, 2004).

L'ensemble des sites de mesures sont localisés sur les cartes suivantes (figure 9 à 12), suivant leur famille.

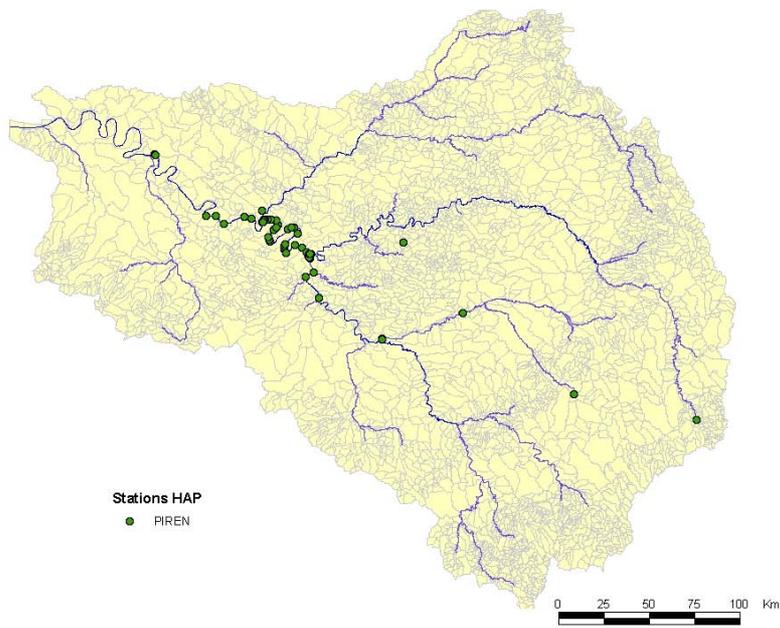


Figure 9 : Carte des stations de mesures HAP du PIREN-Seine.

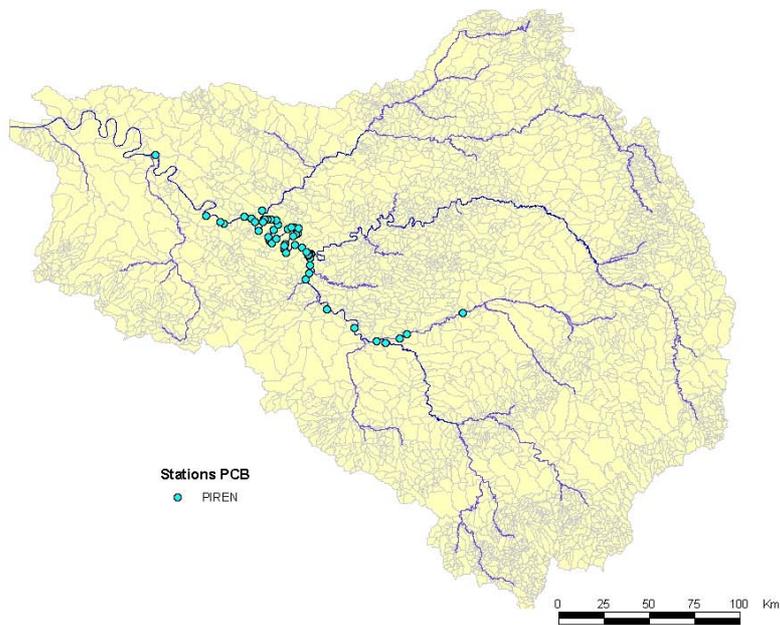


Figure 10 : Carte des stations de mesures PCB du PIREN-Seine.

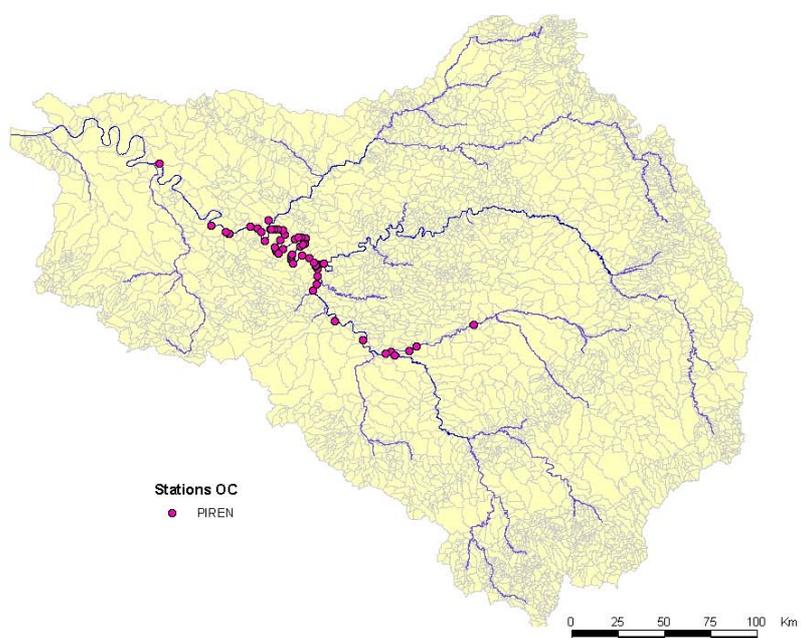


Figure 11: Carte des stations de mesures OC du PIREN-Seine.

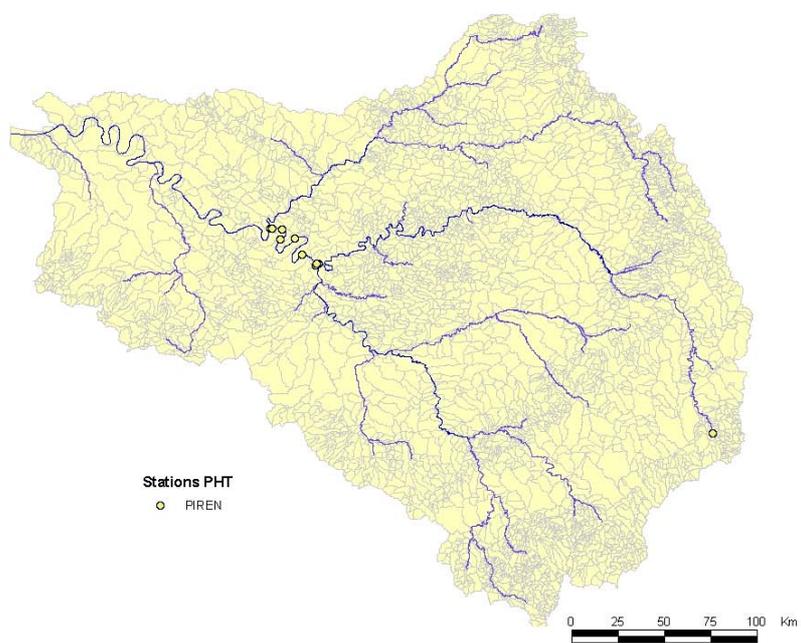


Figure 12 : Carte des stations de mesures PHT du PIREN-Seine.

3.2.2.2 RNB

- Données polluants organiques persistants

Cette banque contient les résultats d'analyses effectuées dans le cadre des réseaux patrimoniaux de suivi de la qualité des eaux, en rivières et dans les nappes souterraines du territoire hydrographique du bassin Seine-Normandie. Les données sont disponibles à partir de 1997 pour les micropolluants organiques. L'ensemble de ces points est représenté sur les figures suivantes (13 à 16) suivant leur famille.

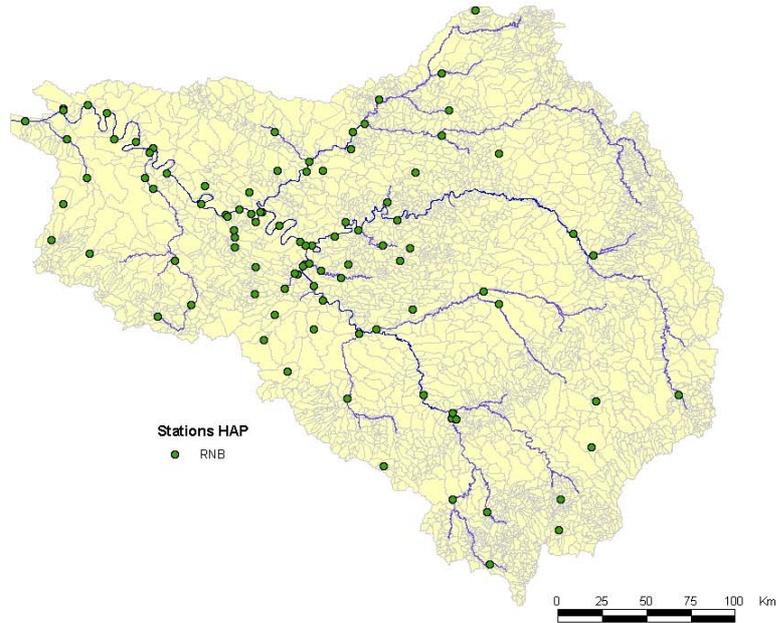


Figure 13 : Carte des stations qualités du Réseau National de Bassin HAP

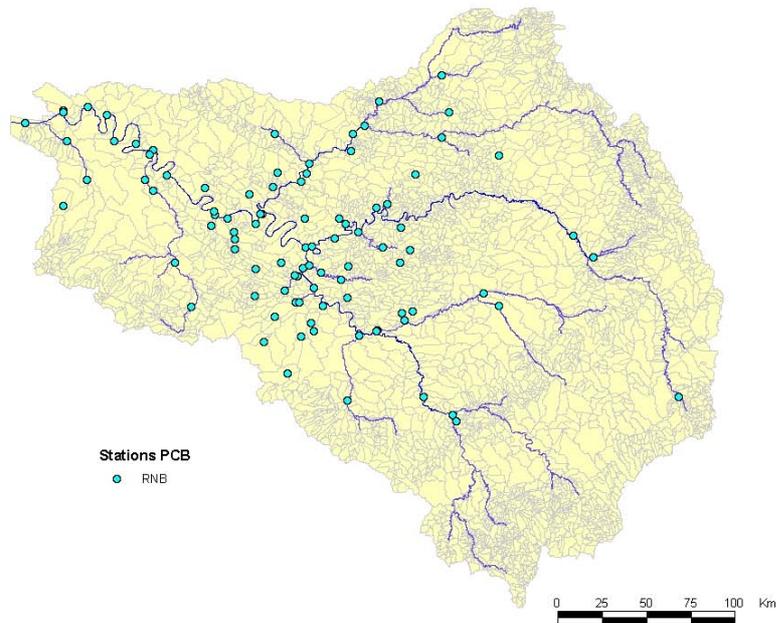


Figure 14 : Carte des stations qualités du Réseau National de Bassin PCB

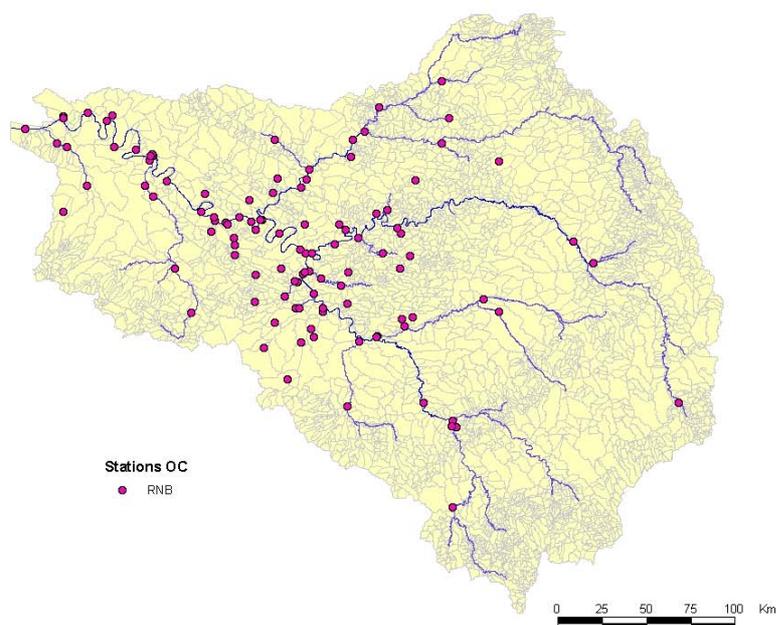


Figure 15: Carte des stations qualités du Réseau National de Bassin OC

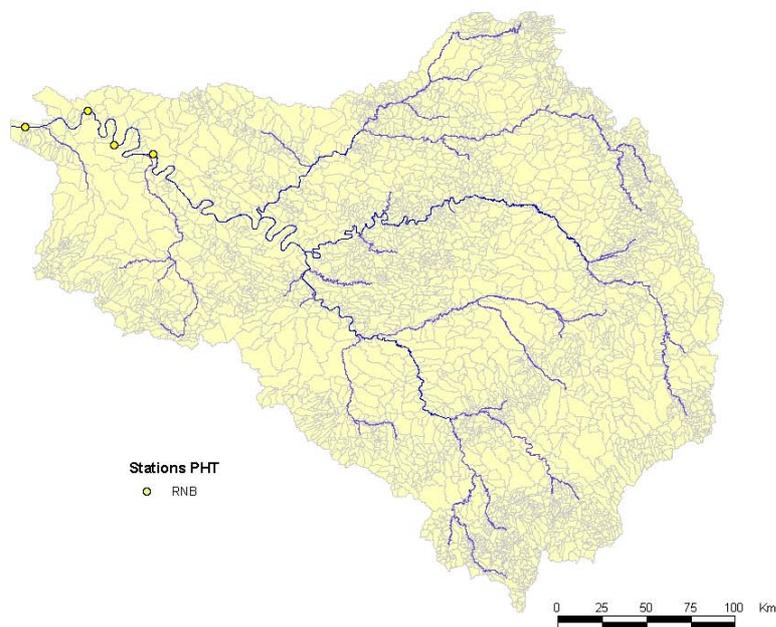


Figure 16 : Carte des stations qualités du Réseau National de Bassin PHT

- Données MES

Meybeck et al. (Rapport PIREN-Seine, 2000) ont réalisé une étude statistique complète sur les données de MES du bassin de la Seine du RNB et d'autres. Les données utilisées alors provenaient de différentes sources :

- RNB : 250 stations étudiées pour lesquelles existent plus de 50 mesures sur la période considérée,

- Suivis journaliers à Poses, sur la Marne et le Grand Morin par le SNS (A. Ficht), le CGE (N. Fauchon) et le CEMAGREF (V. Andreassian).

Ce travail a eu pour but d'examiner les distributions géographiques et statistiques des MES. Pour ce faire, les stations ont été classées afin de déterminer les quantiles de distribution depuis le percentile inférieur $C_{1\%}$ au supérieur $C_{99\%}$. En s'intéressant ensuite aux flux de MES, les auteurs ont déterminés les MES moyennes pondérées (MES*). Ces MES* sont toujours différentes des MES moyennes arithmétiques ou des médianes (Meybeck et al., Glob. Biog. Cycles). Les quantiles qui correspondent à ces MES* pondérées varient de $C_{75\%}$ à $C_{99\%}$ suivant la taille des bassins et les régimes hydrologiques.

La fréquence de suivi mensuelle des MES ne permet pas de calculer avec un minimum de confiance un flux annuel, en particulier pour les bassins les plus petits ou les variabilités des MES et des débits sont toutes deux élevées. Aussi, pour SequaPOP, nous nous sommes servis des quantiles de MES disponibles sur tout le bassin pour estimer les MES* pondérées à long terme, sur 10 ans et plus. D'après l'étude réalisée sur 64 rivières mondiales (Meybeck, 2003) nous avons choisi les quantiles MES $C_{90\%}$, pour les bassins les plus petits ($< 1\ 000\ km^2$) et MES $C_{75\%}$, pour le plus grands, comme représentatifs des MES* pondérées.

Les MES* sont ensuite affectées d'un débit moyen interannuel généré par la distribution spatiale des écoulements de surface gracieusement fournie par Éric Sauquet (CEMAGREF Lyon) pour estimer les flux à long terme de MES à ces stations et les flux spécifiques ($t.km^{-2}.an^{-1}$). Dans SequaPOP, nous n'avons pas tenté de décrire des flux annuels, encore moins saisonniers, de MES, mais des études spécifiques pourraient être envisagées pour y remédier.

3.2.3 Milieu atmosphérique

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des campagnes de mesures atmosphériques réalisées depuis 1992, par les labos associés au PIREN-Seine.

Tableau 5 : Campagnes de mesures atmosphériques du PIREN-Seine et autres laboratoires depuis 1992 à 2003

| Date | Laboratoire | Matrice | Emprise | HAP | PCB/OC | PHT |
|--------------|-------------|--------------------|---------------------------------------|-----|--------|-----|
| 1992-1993 | LHE | Air, phase gazeuse | Jussieu, la Ferté sous Jouarre | | * | |
| 1994 2002 | CEREVE | Retombées totales | Paris, Créteil, Coulommiers | * | | |
| 1999-2000 | LHE | | Jussieu, Eclaron, Coulommiers | | * | |
| 2001-2002 | LHE | | Jussieu, Eclaron, Coulommiers, Evreux | | * | |
| 2002-2003 | LHE | | Jussieu | | | * |

- 1992-1993 – Air, phase gazeuse :

Deux sites ont été échantillonnés (La Ferté-sous-Jouarre et Jussieu) à une fréquence mensuelle sur 1992 et 1993 pour mesurer des concentrations en PCB et OC dans la phase gazeuse de l'air (Chevreuil *et al.*, 1996).

- 1994/2002 – Retombées atmosphériques totales:

Une campagne a été réalisée dans le cadre de la thèse de Sam Azimi en 1999-2002, au sein du CEREVE. La teneur en HAP contenue dans les retombées atmosphériques totales a été mesurée sur 3 sites de la région parisienne (Paris, Créteil et Coulommiers) (Azimi *et al.*, 2005).

- 1999-2000 – Retombées atmosphériques :

L'étude initialisée en octobre et novembre 1999 traite des apports des HAP et PCB en milieu urbain par les retombées atmosphériques totales. Elle a été continué sur d'autres sites (transversale est-ouest) en 2000 (janvier à octobre) (Ollivon *et al.*, 2000).

- 2001-2002 – retombées atmosphériques totales :

Quatre sites (Evreux, Paris, Coulommiers, Eclaron) équipés de collecteurs de dépôts totaux ont été échantillonnés bi-mensuellement de février 2001 à mars 2002, permettant l'étude des apports atmosphériques totaux (Teil *et al.*, 2002).

- 2002-2003 – Air, phase gazeuse et particulaire :

L'étude a porté sur la mesure de concentrations en phtalates à Jussieu sur une période d'un an, afin d'analyser les évolutions des concentrations en phtalates dans l'air ambiant (gaz et aérosols particuliers) et dans les dépôts atmosphériques totaux en relation avec les paramètres environnementaux ou les caractéristiques moléculaires et de déterminer l'excès pour la période d'étude (Teil *et al.*, 2005).

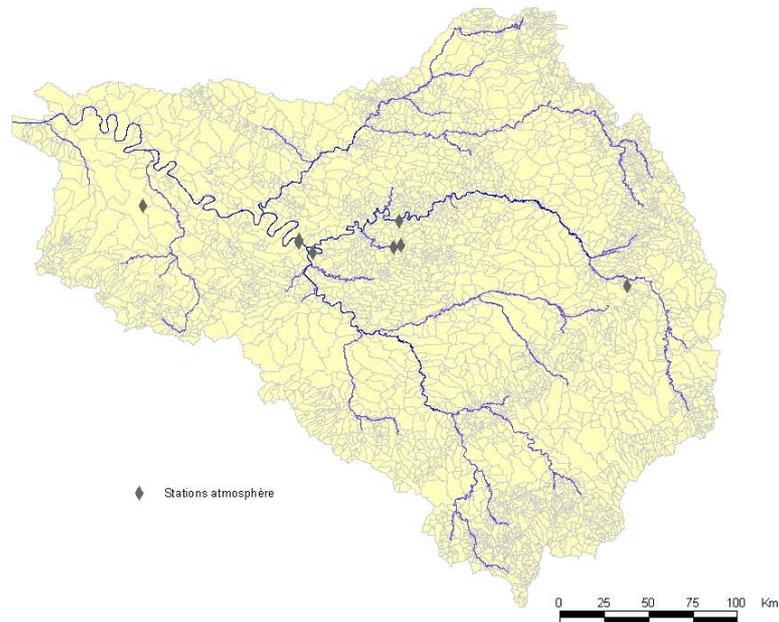


Figure 17 : Localisation des sites de prélèvements de retombées atmosphériques

Dans SequaPOP, on distinguera donc 2 grands types de collectes :

- collecte dans l'air ambiant:
 - Concentration dans la phase gazeuse (PG) de l'air mesuré en ng/m³
 - Concentration en phase particulaire (PP) de l'air en ng/m³
 - Teneur des particules (PA) de l'air retenues sur le filtre en ng/mg (déterminée à partir de PP divisée par la concentration en aérosols particuliers)

On peut ainsi déduire la concentration dans l'air total (AT=PG+PP)

- collecte des retombées :
 - le dépôt total (DT) mesuré en µg/L, par un entonnoir ouvert en permanence,
 - le dépôt humide (DH) ou Eau de pluie mesuré en µg/L, par un préleveur spécifique « Wet and Dry »

3.3 Les données générées

3.3.1 Fond cartographique

3.3.1.1 Les plaines alluviales

Elles ont été réalisées à partir du MNT. Une carte des pentes a d'abord été générée (Figure 18).

A partir de la carte des pentes, les zones dont la pente est inférieure à 0.8% ont été retenues (hors plateaux), pour digitaliser les plaines alluviales. Les plaines alluviales de rivières dont l'ordre de Strahler est supérieur à 4 ont été digitalisées, les autres l'ont été selon leur importance.

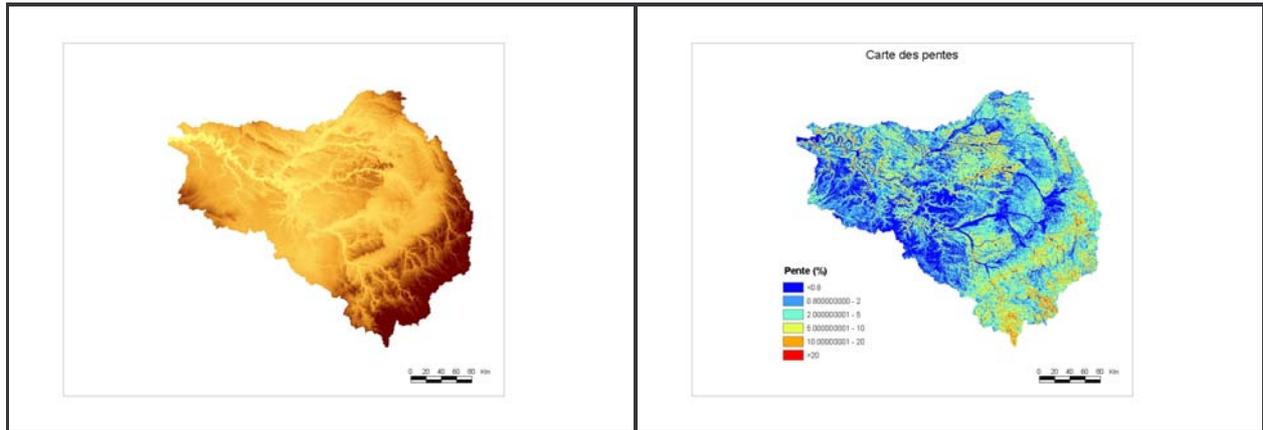


Figure 18: à gauche : MNT du bassin de la Seine ; à droite : carte des pentes

Ces plaines sont découpées en fonction des BVU, elles ont un identifiant correspondant aux BVU.

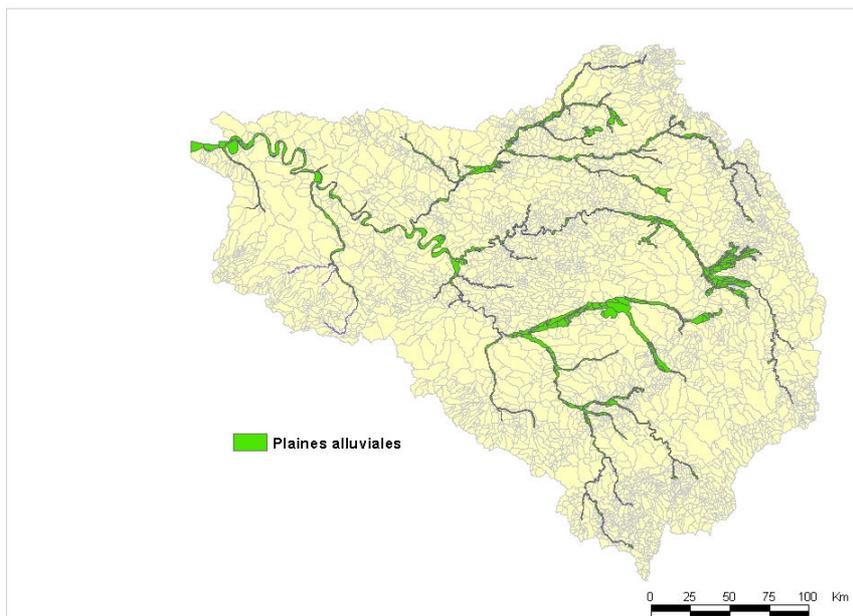


Figure 19: Les plaines alluviales

3.3.1.2 Les sites de dragage

Les données de dragage proviennent de VNF. Elles sont constituées d'un identifiant, du PK et de la commune où s'effectue le dragage, des volumes dragués par an de 1997 à 2003 et de la commune de dépôts.

Une couche dragage a été créée en ne considérant pas l'épaisseur du dragage, ce sont donc des linéaires de quelques centaines de mètres au maximum superposé au tronçon de rivière correspondant.

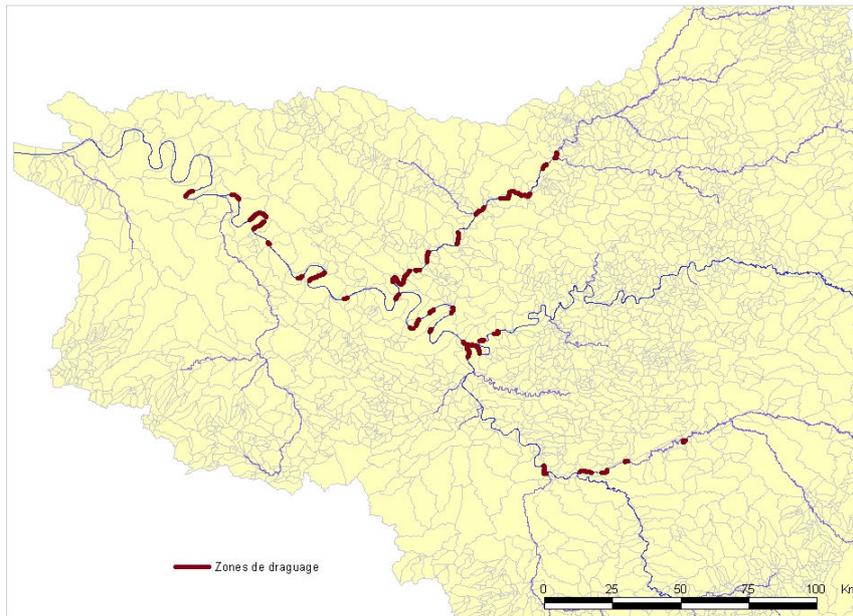


Figure 20: Localisation des tronçons de rivière draguées

3.3.2 Flux d'eau et de MES

3.3.2.1 Flux d'écoulement et débits à long terme

L'information sur les écoulements provient de méthodes mises en place au CEMAGREF Lyon (Sauquet, 2003). Elle permet actuellement le calcul par maille de 16 km x 16 Km des écoulements moyens interannuels contribuant aux débits des cours d'eau et ainsi de reconstituer les débits. Cette information est générée pour l'instant sur des pas de temps longs (20 ans). Elle permet d'obtenir un écoulement moyen interannuel pour chaque bassin versant unitaire du réseau hydrographique. L'estimation, réalisée de façon automatique, a ensuite fait l'objet d'une validation manuelle et certains bassins ont été estimés de nouveau en terme d'écoulement soit direct, soit total. Nous remarquerons que ce traitement est limité aux bassins versants définis par la confluence entre la Seine et le Vaucouleurs (au niveau de la commune de Mantes-la-Jolie). Elle ne s'applique donc pas totalement jusqu'à Poses (figure 21).

Seule une image de la carte des écoulements est affichable dans l'application. La figure suivante présente cette même carte des écoulements en 5 classes, à la résolution spatiale de 256 km².

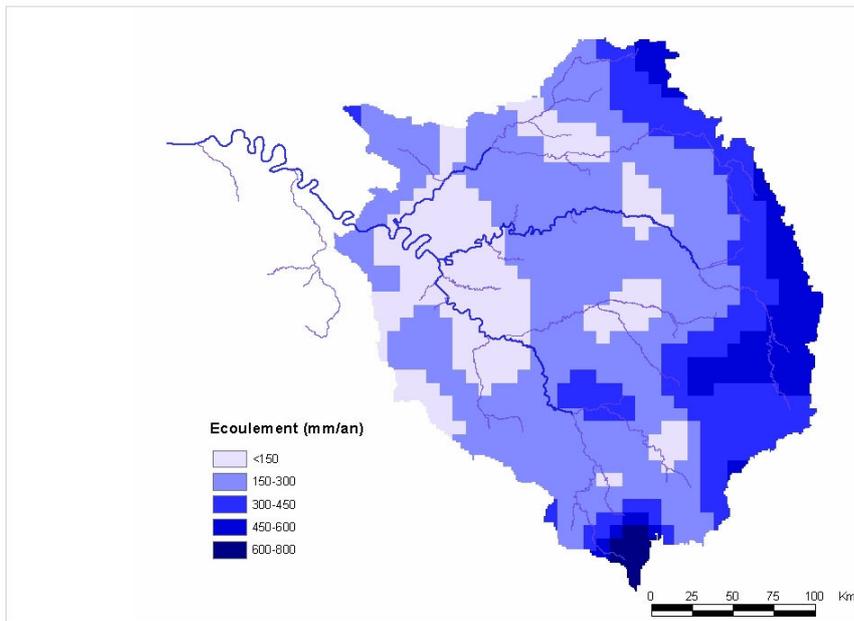


Figure 21: Carte des écoulements calculés à long terme
valeurs moyennes sur 20 ans (Base de E. Sauquet, CEMAGREF Lyon).

3.3.2.2 Flux de MES aux stations à long terme

A partir des valeurs des MES* (cf. section 3.2.1.2), des écoulements moyens (cf. section 3.3.1.1) et des superficies des bassins versants, il est possible de calculer les flux à long terme (1971-2000) et les flux spécifiques à long terme (1971-2000) des MES (respectivement F_{MES} , exprimé en $t.an^{-1}$ et Y_{MES} , en $t.an^{-1}.km^{-2}$) aux niveaux des stations de mesures.

Ces calculs sont réalisés de la façon suivante :

$$F_{MES} = MES^* \times \text{Volume annuel moyen écoulé}$$

$$Y_{MES} = \frac{F_{MES}}{\text{Superficie du bassin versant}}$$

Les flux spécifique à long terme calculés ainsi sont présentés sur la figure suivante :

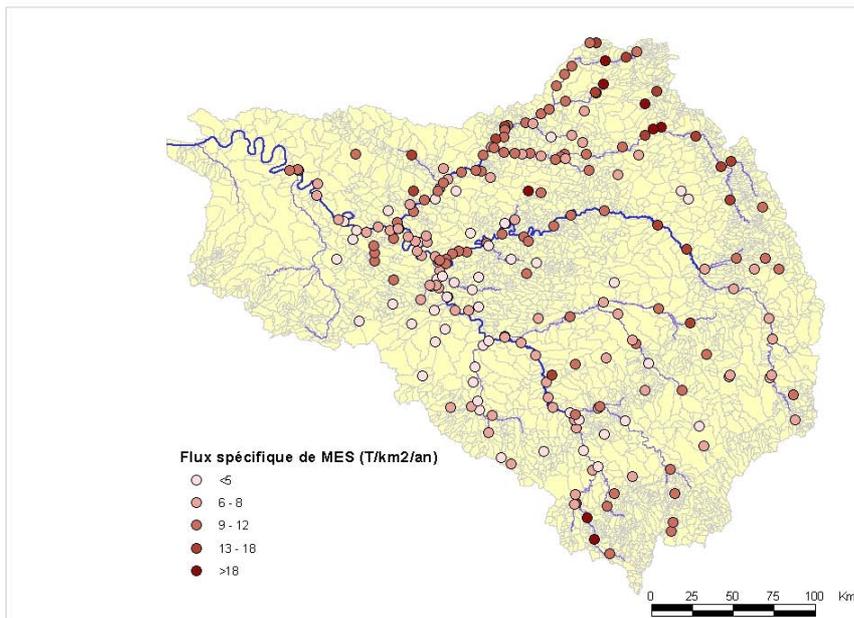


Figure 22: Carte des flux spécifiques à long terme des matières en suspension
(Stations de mesure de la qualité des eaux du RNB ; valeurs moyennes sur 20 ans).

Nous remarquerons que cette méthode n'est applicable que pour une période assez longue pour laquelle on s'approche d'un régime moyen de transport de MES.

3.4 Les indicateurs de contamination

Seul le SEQeau (établi par le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable et les Agences de l'eau) propose des classes de qualité avec la représentation classique à 5 couleurs. Une version 2 de cet indicateur est sorti en avril 2003 et prend en compte un grand nombre de polluants organiques.

Le tableau suivant récapitule, dans les différentes matrices, les classes de couleur et les seuils associés pour un certain nombre de molécules prises en compte dans SequaPOP :

Tableau 6 : Seuils du SEQeau pour les polluants organiques de SequaPOP.
sur Eau brute, Sédiments et MES

| | Média | Eau brute (ng/L) | | | | Sédiments (µg/g) | | | MES (µg/g) | | |
|--------|----------|------------------|-----------|---------|----------|------------------|-------|---------|------------|-------|---------|
| | Qualité | Très bonne | Bonne | Moyenne | Médiocre | Très bonne | Bonne | Moyenne | Très bonne | Bonne | Moyenne |
| HAP | ACE | 0.00007 | 0.0007 | 0.16 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | FLU | 0.00003 | 0.0003 | 0.077 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | ANT | 0.000009 | 0.00009 | 0.021 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | FTH | 0.0000024 | 0.000024 | 0.006 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | PYR | 0.0000024 | 0.000024 | 0.006 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | BaA | 0.0000005 | 0.000005 | 0.0012 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | CHR | 0.0000006 | 0.000006 | 0.0015 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | BbF | 0.0000001 | 0.000001 | 0.0003 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | BkF | 0.0000003 | 0.000003 | 0.0008 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | BaP | 0.00000003 | 0.0000003 | 0.00008 | | 0.0005 | 0.005 | 0.75 | 0.001 | 0.01 | 1.5 |
| | DaHA | 6E-09 | 6E-08 | 1.4E-05 | | 0.0005 | 0.005 | 0.75 | 0.001 | 0.01 | 1.5 |
| | BghiP | 0.0000003 | 0.000003 | 0.0006 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | IcdP | 0.00000016 | 0.0000016 | 0.0004 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | NAP | 0.00019 | 0.0019 | 0.46 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| | ACY | 0.00004 | 0.0004 | 0.099 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 |
| PHE | 0.000011 | 0.00011 | 0.027 | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 | |
| S14HAP | | | | | 0.005 | 0.05 | 7.5 | 0.01 | 0.1 | 15 | |
| OC | pp'DDE | 0.00003 | 0.0003 | 0.0016 | 0.002 | 0.00031 | 0.003 | 0.031 | 0.00063 | 0.006 | 0.062 |
| | HCB | 0.0000007 | 0.000007 | 0.00002 | 0.0001 | 0.0045 | 0.045 | 0.45 | 0.009 | 0.09 | 0.9 |
| | aHCH | | | | | | | | | | |
| | gHCH | 0.000001 | 0.00001 | 0.0001 | 0.0011 | 0.00023 | 0.002 | 0.0049 | 0.00047 | 0.005 | 0.0099 |
| | pp'DDT | 0.0000002 | 0.000002 | 0.00002 | 0.0002 | 0.0016 | 0.016 | 0.16 | 0.0032 | 0.032 | 0.32 |
| PCB | PCB153 | 0.0000001 | 0.000001 | 0.00001 | 0.002 | | | | | | |
| | PCB180 | 0.0000001 | 0.000001 | 0.00001 | 0.002 | | | | | | |
| | PCB28 | 0.0000001 | 0.000001 | 0.00001 | 0.002 | | | | | | |
| | PCB52 | 0.0000001 | 0.000001 | 0.00001 | 0.002 | | | | | | |
| | PCB101 | 0.0000001 | 0.000001 | 0.00001 | 0.002 | | | | | | |
| | PCB118 | 0.0000001 | 0.000001 | 0.00001 | 0.002 | | | | | | |
| | PCB138 | 0.0000001 | 0.000001 | 0.00001 | 0.002 | | | | | | |
| | S7PCB | 0.0000001 | 0.000001 | 0.00001 | 0.002 | 0.006 | 0.06 | 0.67 | 0.012 | 0.12 | 1.3 |
| PHT | DMP | | | | | | | | | | |
| | DEP | | | | | | | | | | |
| | DnBP | | | | | | | | | | |
| | DnPP | | | | | | | | | | |
| | BBP | | | | | | | | | | |
| | DEHP | 0.00003 | 0.0003 | 0.003 | | 24 | 240 | 2400 | 49 | 490 | 4900 |
| | DnOP | | | | | | | | | | |

4 LES FONCTIONNALITES DE SequaPOP

Les fonctionnalités de SequaPOP peuvent se décliner selon 2 types d'analyse :

- la contamination du réseau hydrographique
- la contamination atmosphérique

SequaPOP utilise 2 outils principaux d'analyse :

- les graphiques,
- la cartographie.

Une description détaillée à toutes les échelles du bassin est disponible à tout moment de l'analyse. Par ailleurs, de nombreux outils SIG sont accessibles pour travailler au mieux sur l'ensemble du système.

Cette partie survole l'ensemble des fonctionnalités sans rentrer dans le détail, qui, lui, se trouve dans l'aide en ligne du logiciel.

4.1 La description du bassin

SequaPOP permet d'afficher une carte d'identité précise en tout point du bassin présentant les caractéristiques suivantes :

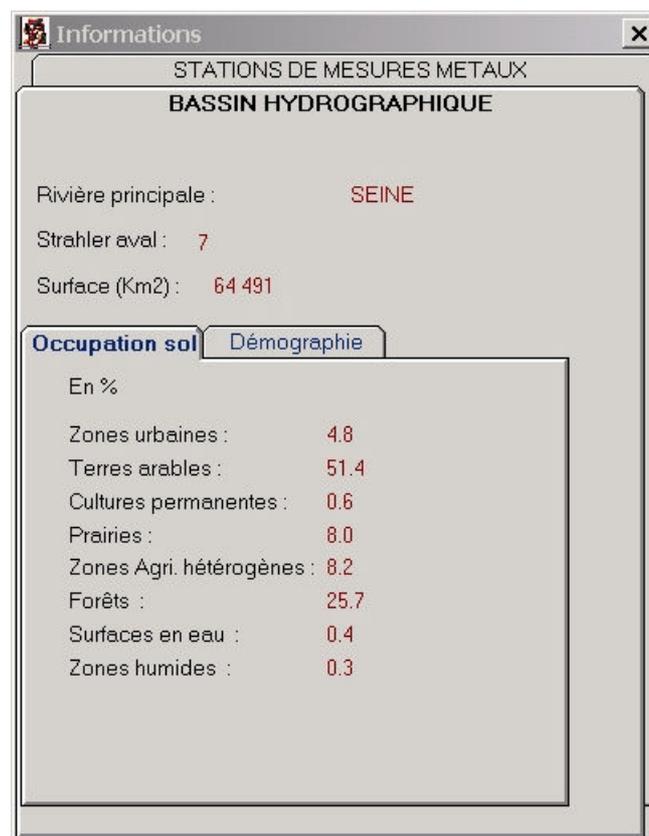


Figure 23: la fiche d'information de SequaPOP

4.1.1 Caractéristiques générales

| | |
|-----------------------|---|
| Bassin hydrographique | <p style="text-align: center;">BASSIN HYDROGRAPHIQUE</p> <p>Rivière principale : MARNE</p> <p>Strahler aval : 6</p> <p>Surface (Km2) : 12 832</p> |
| Occupation du sol | <p style="text-align: center;">Occupation sol Démographie</p> <p style="text-align: center;">En %</p> <p>Zones urbaines : 4.8</p> <p>Terres arables : 51.4</p> <p>Cultures permanentes : 0.6</p> <p>Prairies : 8.0</p> <p>Zones Agri. hétérogènes : 8.2</p> <p>Forêts : 25.7</p> <p>Surfaces en eau : 0.4</p> <p>Zones humides : 0.3</p> |
| Démographie | <p style="text-align: center;">Occupation sol Démographie</p> <p style="text-align: center;"><u>10 premières communes (incluses et adjacentes) :</u></p> <p>1 - PARIS-15E-ARRONDISSEMENT ▲</p> <p>2 - PARIS-18E-ARRONDISSEMENT</p> <p>3 - PARIS-20E-ARRONDISSEMENT</p> <p>4 - REIMS</p> <p>5 - PARIS-13E-ARRONDISSEMENT</p> <p>6 - PARIS-16E-ARRONDISSEMENT ▼</p> <p>Σ10 : 1 735 500</p> <p>Σ20 : 2 672 600</p> <p>Σ50 : 4 443 600</p> <p>Σ100 : 6 358 100</p> <p>Population totale (1999) : 13 899 635</p> |

Figure 24 : Informations sur le bassin hydrographique.

Lithologie, Occupation du sol, Démographie

4.1.2 Stations de mesures POP

Cet onglet récapitule le nombre d'échantillons de la famille de contaminants sélectionnée dans les différentes matrices, et le nombre de stations de mesures des 4 familles de contaminants.

L'onglet suivant (du nom de la famille sélectionnée) affiche la liste des stations de mesures appartenant à l'organisme sélectionné et les échantillons associés.

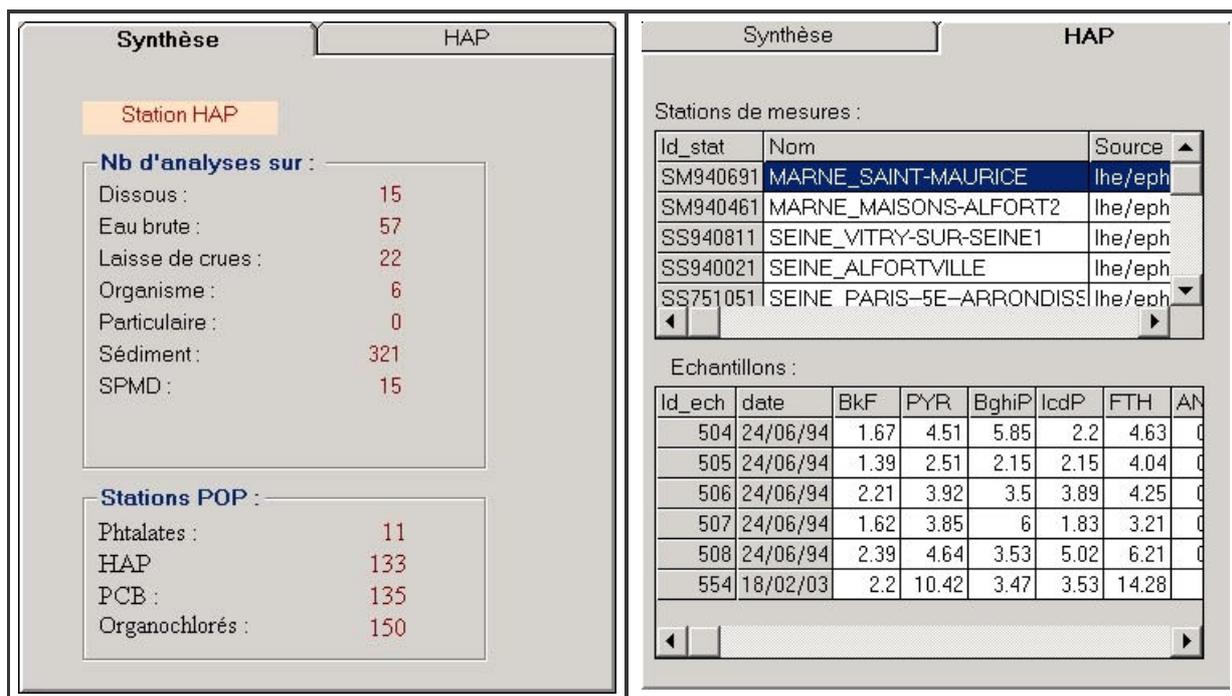


Figure 25 : Informations sur les stations de mesures de la qualité de l'eau

4.2 La contamination du réseau hydrographique

Cette partie d'analyse est basée sur les mesures des polluants organiques obtenues lors d'échantillonnages sur différentes matrices (laises de crues, sédiments, eau brute, trappes à MES, organismes...).

4.2.1 Fonctionnalités graphiques

4.2.1.1 les variations temporelles

Il est possible de représenter :

- les évolutions temporelles de molécules ou des sommes de molécules (pluri-moléculaire)

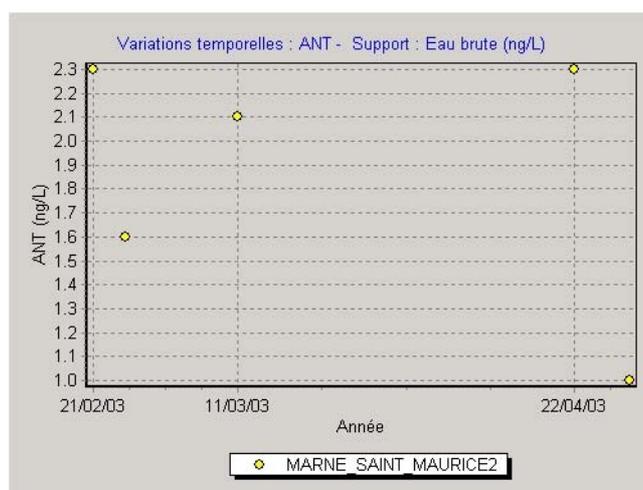


Figure 26 : Variation temporelle de l'Anthracène (ANT) à la station de Marne_Saint-Maurice2
Mesures sur eau brute en 2003.

- le flux de MES journalier à Poses

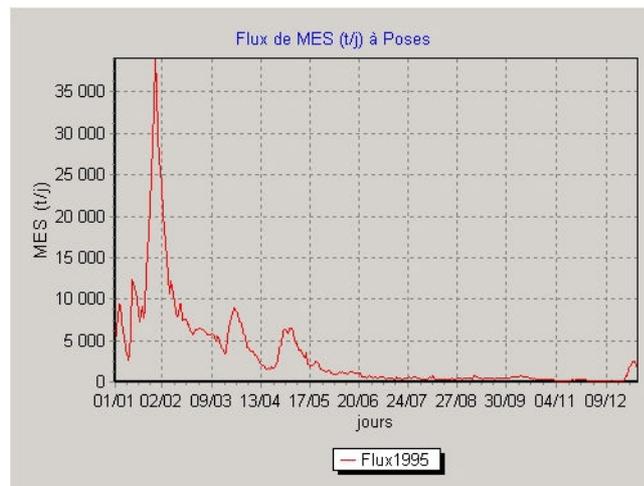


Figure 27 : Flux de MES en T/j à Poses en 1995

4.2.1.2 les corrélations inter-moléculaire

Il est possible d'afficher en fond de graphique l'ensemble des stations du bassin, en distinguant les stations amont et aval de Paris.

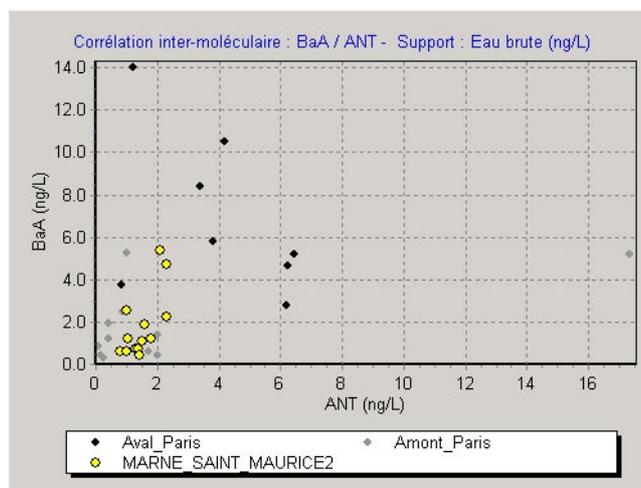


Figure 28 : Corrélation inter-moléculaire Anthracène/Benz[a]anthracène à Marne_Saint_Maurice2 par rapport au reste du bassin. en jaune, la station Marne_Saint_Maurice2; en gris, les stations en amont de Paris; en noir, les stations en aval de Paris.

4.2.2 Fonctionnalités cartographiques

4.2.2.1 les cartes de contamination

Elles peuvent porter sur la moyenne (sur la période proposée) des mesures brutes ou sur les indicateurs pluri-moléculaires pourvu qu'ils possèdent des classes de couleur de contamination.

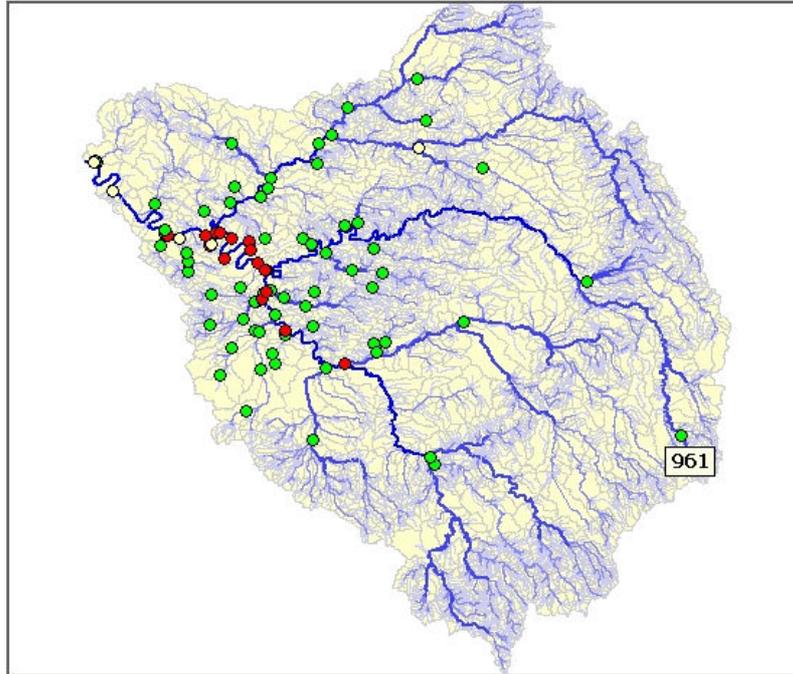


Figure 29 : Carte de contamination du bassin de la Seine après Poses, sur les stations de mesures sur Eau brute du lindane (gHCH)-SEQeau (Eau brute ng/L). en vert <0.00001 ; en jaune <0.0001; en rouge >0.011

4.2.2.2 Les cartes de flux

Le flux spécifique de MES à l'échelle des bassins versants unitaires (§ 3.3.3.3)

4.3 La contamination atmosphérique

Quelques stations sont disponibles principalement en Ile-de-France, mesurant sur quelques campagnes les retombées atmosphériques ou la concentration dans l'atmosphère des polluants organiques.

Graphiquement, Il est possible de manipuler ces quelques mesures :

4.3.1 Variations temporelles des concentrations de polluants organiques

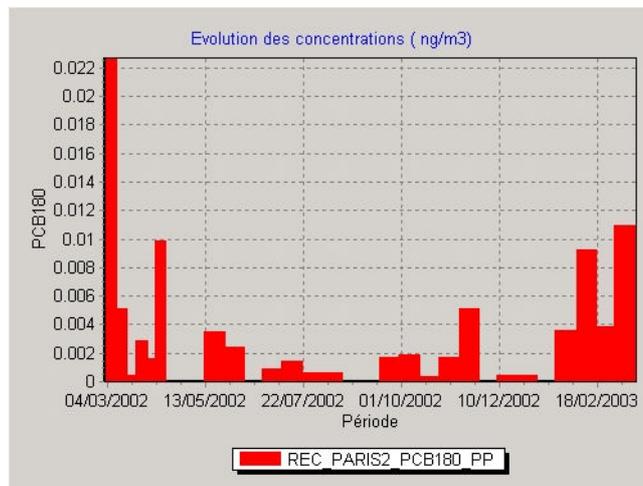


Figure 30: Variation temporelle des concentrations de PCB180 en ng/m3 Phase particulaire- à Jussieu

4.3.2 Variations des flux de retombées totales ou humides de contaminants organiques

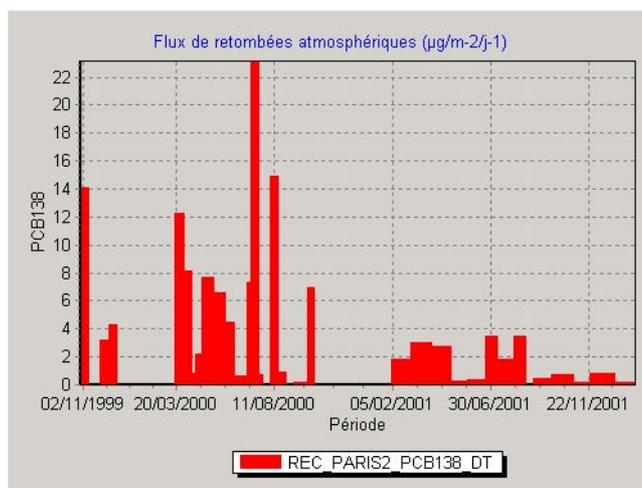


Figure 31 : Flux de retombées atmosphériques totales du PCB138 à Jussieu entre 1999 et 2001

Ce calcul de flux concerne les mesures de retombées atmosphériques totales et humides, lorsqu'on possède les hauteurs d'eau.

4.3.3 Comparaison annuelle des flux de retombées de polluants organiques

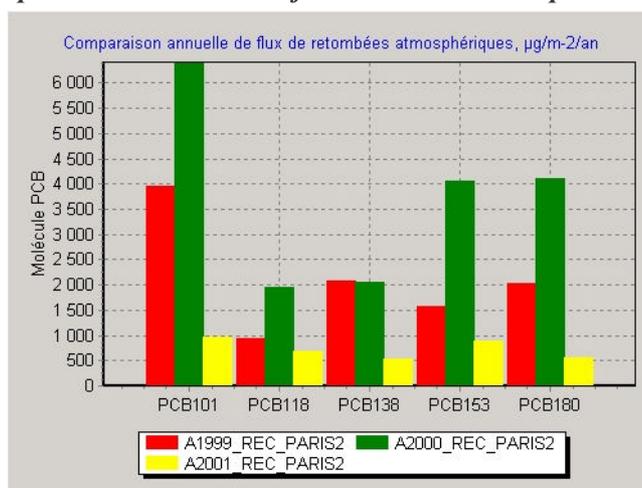


Figure 32 : Flux annuel (1999,2000,2001) de retombées totales des 5 congénères PCB à Jussieu

4.4 Les outils SIG

SequaPOP est avant tout un outil SIG, qui intègre l'ensemble des outils de base d'un SIG, permettant d'une part de manipuler et de travailler sur les données spatialisées de la base de données et d'autre part, de communiquer ces résultats.

4.4.1 Outils cartographiques

Sur la fenêtre cartographique, divers outils permettent de zoomer à une échelle adaptée, se déplacer dans un territoire intéressant, de sélectionner un tronçon de rivière, une industrie, ou une station de mesures.

Les couches suivantes sont disponibles dès l'ouverture du logiciel : Bassins versants unitaires, réseau hydrographique. Il est possible de les rendre visibles ou non, de les situer l'une sous l'autre ou inversement. Par ailleurs, on peut aussi rajouter des couches tels que les retombées atmosphériques, les limites communales...

Ces couches contiennent des informations, qui sont disponibles de différentes façons :

- en passant avec la souris sur un objet (un tronçon, une usine, une station de mesure), une info-bulle s'affiche en jaune sur la carte, indiquant la valeur du champ présélectionné auparavant.
- En cliquant sur un point de la carte, une fiche d'information s'affiche indiquant toute les caractéristiques de ce point, prenant en compte toutes les couches. (voir paragraphe 4.1)

4.4.2 Outils d'export et d'impression

Une fois la carte de contamination ou le graphique de corrélation inter-élémentaire réalisé, une sortie fichier ou papier est possible :

- Les cartes sont exportés au format BMP avec un fichier associé (légende de la carte).
- Les graphiques sont exportés
- sous différents formats image (emf, bmp, jpeg, png, gif, pcx, pdf, eps)
- en format texte (txt, xml, excel)
- Les graphiques peuvent aussi être imprimés avec mise en page.

5 PERSPECTIVES

Tant dans la base de données que dans les fonctionnalités propres du logiciel, de nombreuses améliorations et axes sont à développer.

5.1 La base de données

5.1.1 *Les mises à jour*

Les mises à jour concernent les dernières années (2000-2004) de mesures du RNB et du PIREN.

5.1.2 *Les nouvelles données*

- Certaines données du PIREN n'ont pas encore été intégrées (les plus anciennes sur papier).
- Les données de mesure des contaminants sur le dragage.

5.2 Le logiciel

Grâce à l'ajout de nouvelles données ou la mise à jour des données existantes, de nouveaux outils mettant à profit cette base conséquente pourront être développés tels que :

- le développement du compartiment « Sources de pollution »
- la prise en compte des rejets de STEP,
- l'amélioration des compartiments « Eau » et « Atmosphère »
- le croisement de l'ensemble de ces compartiments afin de réaliser des bilans en terme de flux ou d'évaluation de la qualité du réseau hydrographique sur l'ensemble du bassin de la Seine.

6 INDEX DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Les bassins versants unitaires et le réseau hydrographique généré par le PIREN-Seine | 6 |
| Figure 2 : Les 415 masses d'eau et leur répartition en hydro-écorégions..... | 7 |
| Figure 3 : Carte de l'occupation des sols par agrégation des classes CORINE Land Cover | 9 |
| Figure 4 : Communes, cantons et départements du bassin de la Seine | 9 |
| Figure 5 : structure détaillée des 7 congénères..... | 11 |
| Figure 6: 2 isomères de l'hexachlorocyclohexane : $-\alpha$ HCH et le γ - HCH (lindane) | 13 |
| Figure 7 : Structure du DDT et ses produits de dégradation (TDE et pp'DDE) | 13 |
| Figure 8: Structure de l'HCB | 14 |
| Figure 9 : Carte des stations de mesures HAP du PIREN-Seine..... | 17 |
| Figure 10 : Carte des stations de mesures PCB du PIREN-Seine..... | 17 |
| Figure 11: Carte des stations de mesures OC du PIREN-Seine..... | 18 |
| Figure 12 : Carte des stations de mesures PHT du PIREN-Seine..... | 18 |
| Figure 13 : Carte des stations qualités du Réseau National de Bassin HAP | 19 |
| Figure 14 : Carte des stations qualités du Réseau National de Bassin PCB..... | 19 |
| Figure 15: Carte des stations qualités du Réseau National de Bassin OC..... | 20 |
| Figure 16 : Carte des stations qualités du Réseau National de Bassin PHT..... | 20 |
| Figure 17 : Localisation des sites de prélèvements de retombées atmosphériques | 22 |
| Figure 18: à gauche : MNT du bassin de la Seine ; à droite : carte des pentes | 23 |
| Figure 19: Les plaines alluviales | 23 |
| Figure 20: Localisation des tronçons de rivière draguées | 24 |
| Figure 21: Carte des écoulements calculés à long terme..... | 25 |
| Figure 22: Carte des flux spécifiques à long terme des matières en suspension | 26 |
| Figure 23: la fiche d'information de SequaPOP | 28 |
| Figure 24 : Informations sur le bassin hydrographique..... | 29 |
| Figure 25 : Informations sur les stations de mesures de la qualité de l'eau | 30 |
| Figure 26 : Variation temporelle de l'Anthracène (ANT) à la station de Marne_Saint-Maurice2 | 30 |
| Figure 27 : Flux de MES en T/j à Poses en 1995 | 31 |
| Figure 28 : Corrélation inter-moléculaire Anthracène/Benz[a]anthracène | 31 |
| Figure 29 : Carte de contamination du bassin de la Seine après Poses, | 32 |
| Figure 30: Variation temporelle des concentrations de PCB180 en ng/m3 | 32 |
| Figure 31 : Flux de retombées atmosphériques totales du PCB138 à Jussieu entre 1999 et 2001 | 33 |
| Figure 32 : Flux annuel (1999,2000,2001) de retombées totales des 5 congénères PCB à Jussieu | 33 |

7 INDEX DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1: les classes CORINE Land Cover..... | 8 |
| Tableau 2: liste des 16 HAP pris en compte dans SequaPOP | 12 |
| Tableau 3: liste des phtalates pris en compte dans SequaPOP | 14 |
| Tableau 4 : Campagnes de mesures aquatiques du PIREN-Seine et autres laboratoires..... | 15 |
| Tableau 5 : Campagnes de mesures atmosphériques du PIREN-Seine et autres laboratoires..... | 21 |
| Tableau 6 : Seuils du SEQeau pour les polluants organiques de SequaPOP..... | 27 |

8 BIBLIOGRAPHIE

- Albinet, 1967. Carte hydrologique du bassin de Paris, 1/500 000, dressée de 1963 à 1966. BRGM.
- Azimi S., Rocher V., Muller M., Moilleron R., Thevenot D., 2005. Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition in an urban area (Paris, France). *The Science of the total Environment*, 337, 223-239.
- Blanchard M., Teil M-J., Carru A.M., Chesterikoff A., Chevreuil M., 1997. Organochlorine distribution and monoorthosubstituted PCB pattern in the roach (*Rutilus Rutilus*) from the river Seine. *Water Research*, N°6, 1455-1461.
- Blanchard M., Teil M-J., Carru A-M., Ollivon D., Garban B., Chesterikoff A., Chevreuil M., 1999. PCB and PAH impacts on Cytochrome P-450-Dependent oxidases in roach (*Rutilus rutilus*) from the seine river (France). *Archives of environmental Contamination and toxicology*, 37, 242-250.
- Carpentier S., Moilleron R., Beltran C., Hervé D., Thévenot D., 2002. Quality of dredged material in the river Seine basin (France). II. Micropollutants. *The Science of the total Environment*, 299, 57-72.
- Chevreuil M., Carru A-M., Chesterikoff A., Boët P., Tales E., Allardi J., 1995. Contamination of fish from different areas of the river Seine (France) by organic (PCB and pesticides) and metallic (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn) micropollutants. *The Science of the total Environment*, 162, 31-42.
- Chevreuil M., Granier L., Carru A-M., 1995. Relationship between biological parameters and bioaccumulation of some organochlorines (pesticides, PCB) by fishes in the river Seine (France). *Water, Air, and soil pollution*, 81, 107-120.
- Chevreuil M., Garmouma, M., Teil M-J., Chesterikoff A., 1996. Occurrence of organochlorines (PCBs, pesticides) and herbicides (triazines, phenylureas) in the atmosphere and in the fallout from urban and rural stations of the Paris area. *The Science of the total Environment*, 182, 25-37.
- Chevreuil M., Blanchard M., Teil M-J., Carru A.M., testard P., Chesterikoff A., 1996. Evaluation of the pollution by organochlorinated compounds (Polychlorobiphenyls and pesticides) and metals (Cd, Cr, Cu and Pb) in the water and in the zebra mussel (*Dreissena polymorpha pallas*) of the river Seine. *Water, Air, and soil pollution*, 88, 371-381.
- Chevreuil M., Blanchard M., Teil M-J., Chesterikoff A., 1998. Polychlorobiphényl behaviour in the water/ sediment system of the Seine River, France. *Water Research*, Vol. 32, N°4, 1204-1212.
- Miège C., Gourlay C., Tusseau-Vuillemin M-H., Wang D., Durand S., Garric J., Mouchel J-M., 2005. SPMD (Semi-permeable Membrane Device)- availability of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in river waters and wastewater treatment plant effluents. *Polycyclic Aromatic Compounds*, vol 24, Issues 4-5, p805-825, Ed. Taylor and Francis.
- Ollivon D., Garban B., Chesterikoff A., 1995. Analysis of the distribution of some polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and suspended matter in the river Seine (France). *Water, Air, and soil pollution*, 81, 135-152.
- Ollivon D., Garban B., Teil M-J., Blanchard M., Chevreuil M., 2001. Flux atmosphériques de polluants organiques persistants (POP) sur le bassin versant de la Seine – comparaison avec des sites éloignés (Bretagne et Vosges). *Rapport PIREN-Seine*, Sources et flux de micropolluants urbains.

Ollivon D, Garban B., Blanchard M., Teil M-J., Carru A.M., Chesterikoff C., Chevreuil M., 2002. Vertical distribution and fate of trace metals and persistent organic pollutants in sediments of the Seine and Marne rivers (France). *Water, Air, and soil pollution*, 134, 57-79.

Teil M-J., Blanchard M., Carru A.M., Chesterikoff A., Chevreuil M., 1996. Partition of metallic and organochlorinated pollutants and monoorthosubstituted PCB pattern in the trophic web from different areas of the river Seine. *The science of the total environment*, 181, 111-123.

Teil M-J., Blanchard M., Chesterikoff A., Chevreuil M., 1998. Transport mechanisms and fate of polychlorinated biphenyls in the Seine river (France). *The science of the total environment*, 218, 103-112.

Teil M-J., Ollivon D., Blanchard M., Garban B., Chevreuil M., 2002. Dépôts atmosphériques en polluants organiques persistants (HAP,PCB) et en phtalates. *Rapport PIREN-Seine*, transfert des contaminants.

Teil M-J., Blanchard M., Chevreuil M., 2005. Atmospheric fate of phtalate esters in an urban area (Paris, France). *The science of the total environment* (sous presse).