

Application du modèle MODCOU au renseignement des masses d'eau souterraines de la DCE

Agnès Dessèvre², Eric Gomez¹, Emmanuel Ledoux¹, Jean-marie Monget¹, Christophe Viavattene¹, Pascal Viennot¹.

¹CIG/Ecole des Mines de Paris/UMR Sisyphe, Fontainebleau, emmanuel.ledoux@ensmp.fr

²DIREN Ile-de-France, Cachan, agnes.dessevre@ile-de-france.environnement.gouv.fr

1. Objectifs	1
2. Méthodologie.....	2
2.1. Phase préparatoire : définition des masses d'eau	2
2.1.1 Correspondance mailles MODCOU – Masses d'eau souterraine.....	8
2.2. Données de première phase : alimentation du système hydrologique.....	8
2.2.1 Données associées au mailles MODCOU	8
2.2.2 Données associées aux masses d'eau souterraines	9
2.3. Données de seconde phase : paramètres du système hydrogéologique.....	10
2.3.1 Epaisseur de la zone non-saturée.....	10
2.3.2 Transmissivité et coefficient d'emmagasinement	10
3. Exemples de résultats d'exploitation de la base de données sur les masses d'eau.....	10
3.1. Représentation de l'alimentation des nappes sur une masse d'eau	10
3.2. Représentation de l'alimentation des nappes sur l'ensemble des masses d'eau.....	11
3.3. représentation de l'alimentation des nappes sur le maillage MODCOU.....	11
4. Exemples d'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau	11
5. Conclusions et perspectives.....	17
6. Bibliographie.....	17

1. Objectifs

La Directive-Cadre Européenne sur l'Eau (Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), 2003) prévoit que les états membres effectuent une caractérisation initiale et détaillée des masses d'eau souterraines, et qu'ils évaluent leur état quantitatif et qualitatif actuel et à l'échéance 2015. Sur ces points, le groupe thématique « eaux souterraines » du bassin Seine Normandie a souhaité tester un indice « recharge / prélèvements » qui sera appliqué à chaque masse d'eau.

Pour ce faire, il s'est rapproché du PIREN-Seine afin de bénéficier d'une mise à disposition de données et de résultats sur la recharge des nappes, acquis lors de l'élaboration du modèle hydrologique spatialisé MODCOU, à l'échelle du bassin de la Seine tout entier (Gomez, 2002). Par ailleurs, ce modèle utilise des données concernant les caractéristiques de la zone non saturée et des aquifères qui complètent utilement les informations dont on dispose actuellement et amélioreront la caractérisation des masses d'eau, demandée par la DCE.

Le travail réalisé à ce jour a consisté à transférer sur la géométrie des masses d'eau, en s'appuyant sur les outils SIG mis en œuvre à la DIREN Ile-de-France (Mapinfo) et à l'AESN (ArcView), les informations utiles qui concernent le bassin de la Seine se rapportant à la base de données et à la base de résultats de MODCOU. Après une phase préparatoire consistant à mettre en relation la géométrie des masses d'eau définies par le groupe thématique « eaux souterraines » et le maillage de l'application MODCOU au bassin de la Seine, le transfert a été réalisé en deux étapes. Une première étape concerne les données pluviométriques et d'infiltration dans le système aquifère ; la

seconde traite de paramètres relatifs à la zone non-saturée et au domaine souterrain tels que les profondeurs de nappe par rapport au sol, les transmissivités et coefficient d'emménagement d'aquifères.

Ces informations géoréférencées, complétées par les prélèvements en eaux souterraines sur le bassin, ont fait l'objet d'une première utilisation pour évaluer les risques d'écart aux objectifs quantitatifs sur les différentes masses d'eau souterraines. Le travail futur sera de tenter la même approche pour les objectifs qualitatifs portant sur les pollutions azotées.

2. Méthodologie

2.1. Phase préparatoire : définition des masses d'eau

La Directive Cadre Européenne du 22 décembre 2000 (DCE) introduit la notion de « masses d'eaux souterraines » sur chaque bassin hydrographique, chaque Etat Membre devant alors les protéger, améliorer et restaurer leur état qualitatif et quantitatif, et en assurer le suivi.

La DCE définit par masse d'eau « *un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères* » ; un aquifère représentant « *une ou plusieurs couches souterraines de roches ou d'autres couches géologiques d'une porosité et d'une perméabilité suffisantes pour permettre soit un courant significatif d'eau souterraine, soit le captage de quantités importantes d'eau souterraine* ».

Le district Seine et côtiers normands occupe une large partie du bassin sédimentaire de Paris limité sur ses bordures par les terrains anciens du Primaire et du Précambrien qui en constituent le substratum général. La structure géologique du bassin sédimentaire peut être comparée à un empilement "d'assiettes creuses gigognes", les couches les plus récentes correspondent aux assiettes centrales (ère Tertiaire), les plus anciennes aux assiettes extérieures (ère Secondaire). Les formations anciennes de l'ère Primaire et du Précambrien, n'affleurent à ses extrémités périphériques que sur une faible partie du district hydrographique. Au centre, l'épaisseur totale des couches sédimentaires avant d'atteindre le socle est de l'ordre de 3500 m. C'est au sein de cet ensemble de terrains sédimentaires qu'est localisé l'essentiel des ressources en eau.

Une méthodologie nationale a été élaborée en accord avec les réflexions européennes. La délimitation des masses d'eau souterraines est ainsi fondée sur des critères hydrogéologiques, puis éventuellement sur la considération de pressions anthropiques importantes. Une masse d'eau correspond d'une façon générale sur le district hydrographique à une zone d'extension régionale représentant un aquifère ou regroupant plusieurs aquifères en communication hydraulique, de taille importante. Leurs limites sont déterminées par des crêtes piézométriques lorsqu'elles sont connues et stables (à défaut par des crêtes topographiques), soit par de grands cours d'eau constituant des barrières hydrauliques, ou encore par la morphologie des réservoirs profonds découlant de la géologie.

Seuls les aquifères pouvant être exploités à des fins d'alimentation en eau potable, et constituant une ressource suffisante, par rapport à la qualité de leur eau et/ou à des conditions technico-économiques raisonnables, ont été retenus pour constituer des masses d'eaux souterraines.

Le **nombre de masses d'eau souterraines** proposées, rattachées aux districts Seine et Côtiers normands, s'élève à 52. Trois d'entre elles sont « transdistricts » (c'est-à-dire s'étendant sur plusieurs grands bassins hydrographiques). Par ailleurs six autres masses d'eau transdistrict sont rattachées à d'autres bassins dont la Beauce. La définition de ces masses d'eau qui représente le point de départ de notre approche est représentée sur la **Figure 1**

Il a été au préalable nécessaire d'assurer la correspondance entre les masses d'eau ainsi définies et les mailles de la couche de surface du modèle MODCOU sur lesquelles les différentes bases de données étaient disponibles. A cette fin, le fichier de type polygonal fixant les contours des masses d'eau initiales a été « rasterisé » avec un pas d'espace de 1 km et chaque pixel kilométrique a été

attribué, d'une part à une masse d'eau et d'autre part, à la maille de surface MODCOU dans laquelle elle s'inscrivait.

Le fichier **ME-raster.BMP** obtenu définit ainsi les masses d'eau sous forme de bitmap (**Figure 2**). Une nouvelle vectorisation conduit au fichier **ME-raster.shp** qui permet une manipulation des masses d'eau sous ArcView, en correspondance avec les mailles MODCOU (**Figure 3**). Dans la mesure où les contours du réseau hydrographiques et des aquifères définis sur le maillage MODCOU et les contours des masses d'eau initiales ont été établis de manière totalement indépendante, on aurait pu craindre des incohérences graves dans la mise en coïncidence des masses d'eau et du maillage. L'expérience a montré que seuls de petits décalage locaux, facilement corrigeables à la main, se sont manifestés et que l'ensemble restait très cohérent.

Après report sur le maillage MODCOU, certains numéros de masses d'eaux souterraines peuvent être différents des numéros initiaux. En particulier, il a été ajouté « 0 » à l'identifiant des masses d'eau transdistrict pour les parties hors Seine Normandie. Cela donne par exemple l'identifiant 40920 pour le sud-ouest de la Beauce.

Les nappes alluviales, dont seules les principales ont été retenues comme masses d'eau se trouvent distribuées sur les masses d'eau régionales qu'elles recouvrent, de la manière suivante :

identifiant masse d'eau principale - code alluvions.

Le *code alluvions* peut prendre les valeurs suivantes attribuées aux 8 masses d'eau alluvionnaires finalement retenues :

- 1 : Alluvions du Perthois
- 2 : Alluvions de la Marne
- 3 : Alluvions de la Bassée
- 4 : Alluvions de la Seine (amont)
- 5 : Alluvions de l'Aube (amont)
- 6 : Alluvions de la Seine (aval)
- 7 : Alluvions de l'Oise
- 8 : Alluvions de l'Aisne

MASSES D'EAUX SOUTERRAINES (PARTIES AFFLEURANTES) ETAT DES LIEUX VERSION 1

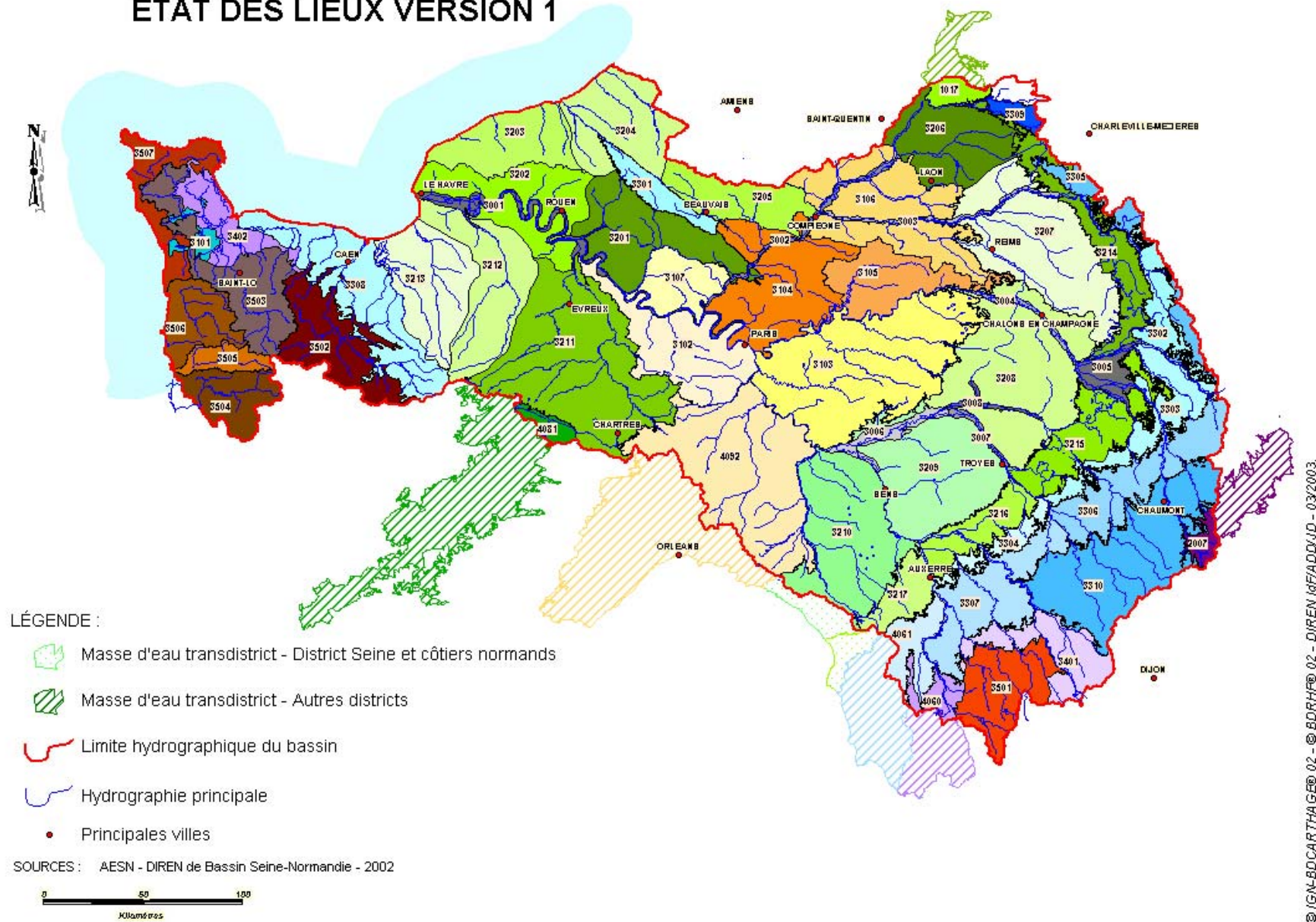


Figure 1 : Définition des masses d'eau souterraines d'après le groupe thématique « eaux souterraines »

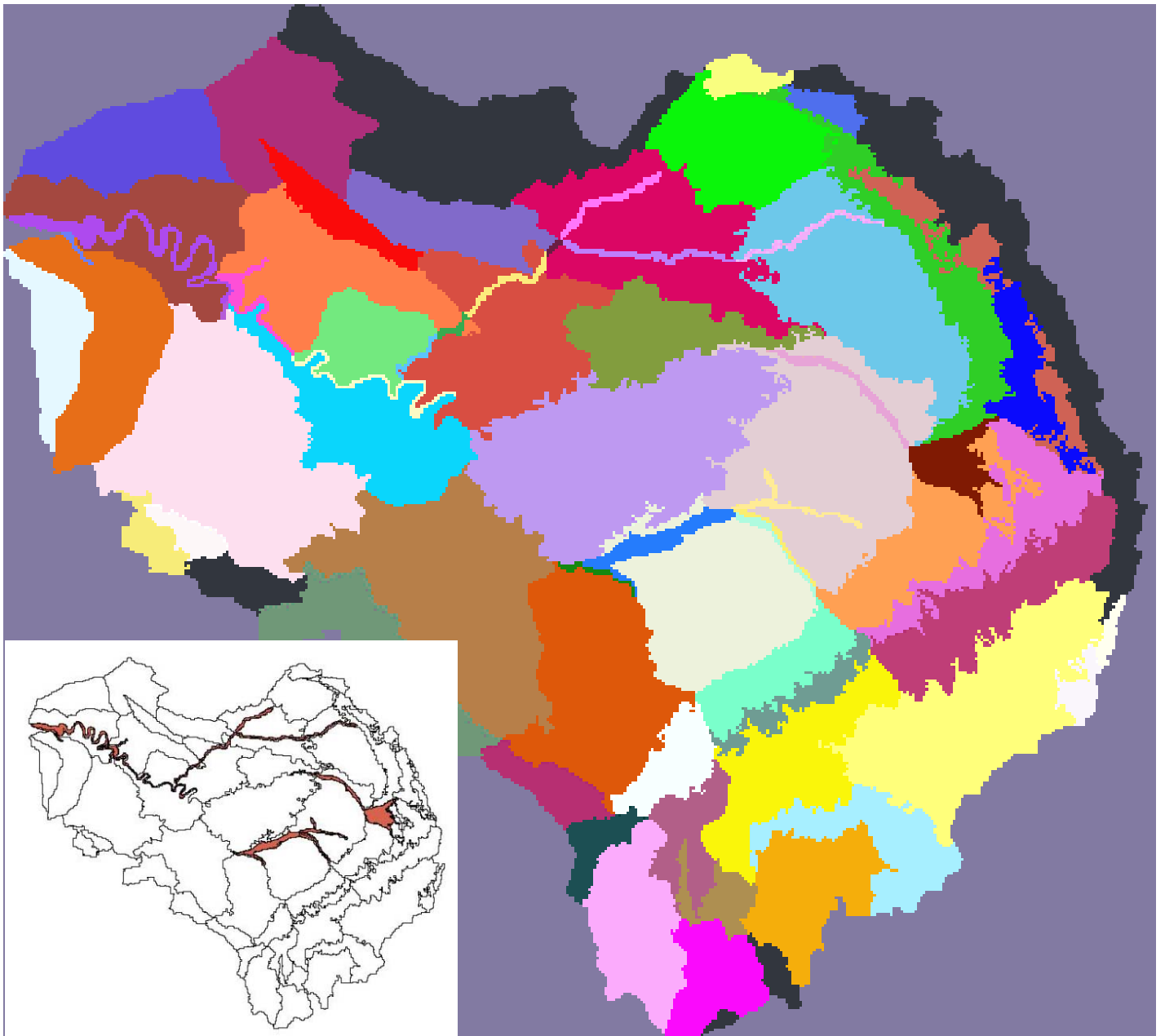


Figure 2 : Définition des 66 masses d'eau retenues pour l'étude après « rasterisation » des contours au pixel kilométrique ; en cartouche sont détaillées les masses d'eau alluvionnaires

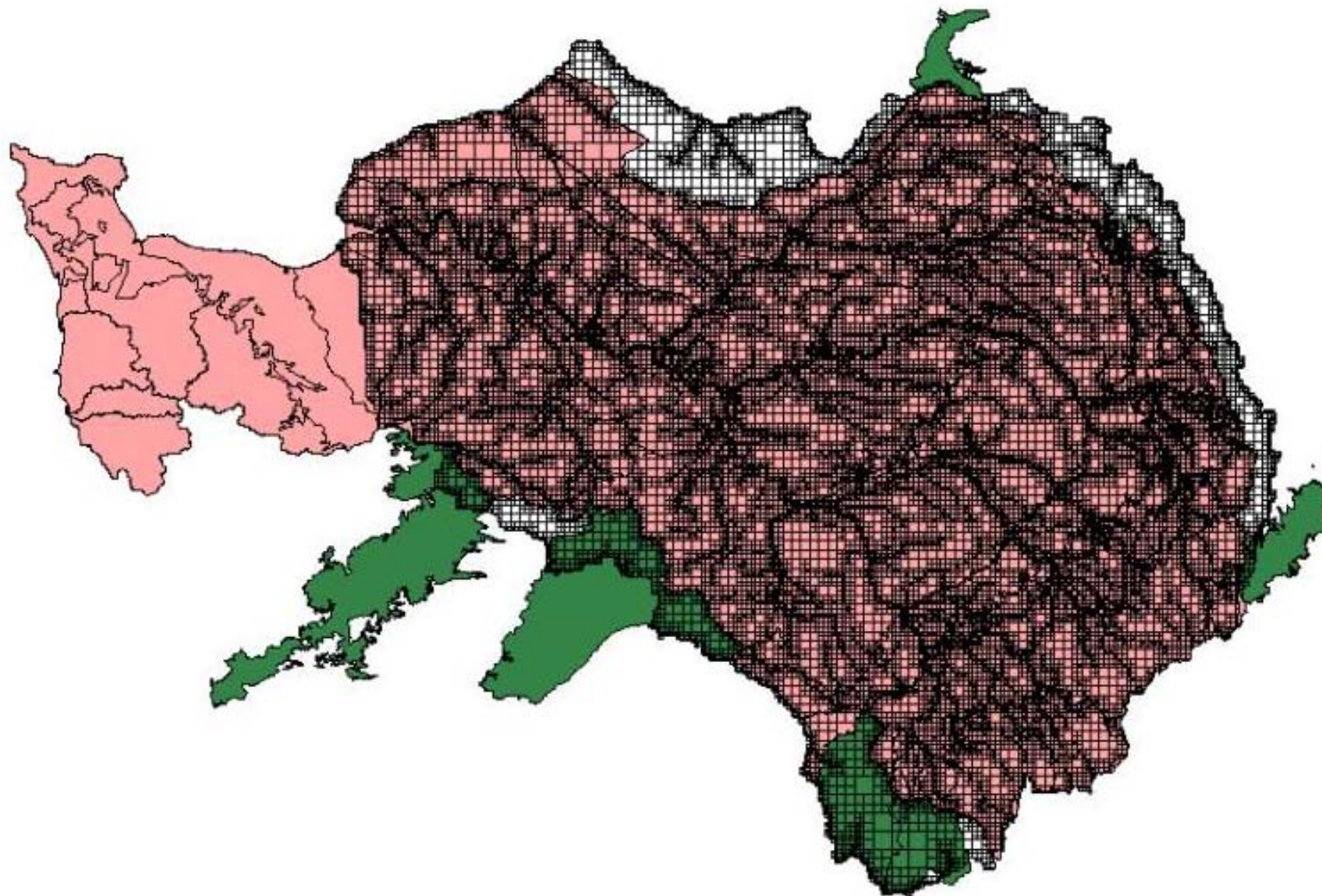


Figure 3 : Correspondance entre les masses d'eau et le maillage de la couche de surface MODCOU ; les masses d'eau figurées en vert sont les masses d'eau transdistrict ; les bassins côtiers normand sont exclus de l'étude ; les surfaces blanches représentent des secteurs simulés par MODCOU, mais hors bassin de la Seine

Au final, le nombre des masses d'eau dont la correspondance est assurée avec le maillage de surface du modèle MODCOU, en se limitant au bassin de la Seine, s'élève à 66. Leur désignation est résumée dans la liste suivante (cf. Tableau I) :

Tableau I : Liste des masses d'eau retenues avec leur numéro d'ordre et leur identifiant

N° d'ordre	Identifiant	Nom	Superficie (km ²)
1	40600	BAZOIS	1045
2	3105	LUTETIEN - YPRESIEN DU BASSIN VERSANT DE L'OURCQ	1631
3	3102	CALCAIRE BEAUCE+SABLES FONTAINEBLEAU+MANTOIS	2239
4	3206	CRAIE DE THIERACHE-LAONNOIS-PORCIEN	2038
5	3302	CALCAIRES TITHONIEN KARSTIQUE entre Orvain et limite du district	885
6	3307	CALCAIRES KIMMERIDGIEN-OXFORDIEN KARSTIQUE entre Yonne et Seine	2104
7	3301	PAYS DE BRAY	633
8	2007	PLATEAU LORRAIN	265
9	3202	CRAIE ALTEREE DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE	2122
10	32026	Alluvions Seine aval sur (3202)	459
11	32151	Alluvions Perthois sur (3215)	519
12	3215	ALBIEN-NEOCOMIEN LIBRE entre Seine et Orvain	1849
13	3205	CRAIE PICARDE	1356
14	3217	ALBIEN-NEOCOMIEN LIBRE entre Loire et Yonne	765
15	1017	Bordure du Hainaut	321
16	3305	CALCAIRES KIMMERIDGIEN-OXFORDIEN KARSTIQUE Nord-Est du District (entre Orvain et limite de district)	906
17	3210	CRAIE DU GATINAIS	3285
18	32103	Alluvions Bassée sur (3210)	54
19	31068	Alluvions Aisne sur (3106)	148
20	32057	Alluvions Oise sur (3205)	16
21	3106	LUTETIEN - YPRESIEN DU SOISSONNAIS-LAONNOIS	3126
22	40920	Beauce (Externe)	1819
23	3211	CRAIE ALTEREE DU NEUBOURG/ITON/PLAINE ST ANDRE	5105
24	32116	Alluvions Seine aval sur (3211)	12
25	3304	CALCAIRES TITHONIEN KARSTIQUE entre Yonne et Seine	533
26	3501	SOCLE DU MORVAN	1673
27	3213	CRAIE ET MARNES LIEUVIN-OUCHÉ/ PAYS D'AUGE - BV de la Touques	1019
28	3401	MARNES ET CALCAIRES DE LA BORDURE LIAS TRIAS DE L'EST DU MORVAN	1435
29	3212	CRAIE LIEUVIN-OUCHÉ - BV de la Risle	2333
30	32126	Alluvions Seine aval sur (3212)	28
31	3207	CRAIE DE CHAMPAGNE NORD	3636
32	32078	Alluvions Aisne sur (3207)	125
33	3208	CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	4247
34	32082	Alluvions Marne sur (3208)	183
35	32085	Alluvions Aube amont sur (3208)	126
36	3303	CALCAIRES TITHONIEN KARSTIQUE entre Seine et Orvain	1485
37	32084	Alluvions Seine amont sur (3208)	61
38	40810	Cénomaniens sableux libre - Externe (Perche-Maine)	382
39	3104	LUTETIEN - YPRESIEN DU VALOIS	2846
40	3201	CRAIE+BUTTES EOCENE	2249
41	32094	Alluvions Seine amont sur (3209)	72
42	3209	CRAIE DU SENONAI ET PAYS D'OTHE	3054
43	4081	CENOMANIEN SABLEUX LIBRE (PERCHE-MAINE)	285
44	32093	Alluvions Bassée sur (3209)	360
45	40610	CALCAIRE JURASSIQUE DU NIVERNAIS	1756
46	31047	Alluvions Oise sur (3104)	95
47	32017	Alluvions Oise sur (3201)	37
48	31026	Alluvions Seine aval sur (3102)	153
49	32016	Alluvions Seine aval sur (3201)	166
50	32170	Albien-Néocomien libre (Externe)	421
51	3309	CALCAIRES DOGGER entre le Thon et limite de District	263
52	3103	BRIE - CALCAIRES DE BRIE/CHAMPIGNY/GROSSIER/SABLES SOISSONNAIS	5157
53	3204	CRAIE des BV de l'Eaulne Béthune Varenne Bresle et Yerres	2167
54	3214	ALBIEN-NEOCOMIEN LIBRE entre Orvain et limite de district	1698
55	3107	EOCENE ET CRAIE DU VEXIN FRANCAIS	1055

56	31047	Alluvions Oise sur (3104)	44
57	3203	CRAIE ALTEREE DU LITTORAL CAUCHOIS	1808
58	4060	BAZOIS	446
59	3216	ALBIEN-NEOCOMIEN LIBRE entre Yonne et Seine	1055
60	3306	CALCAIRES KIMMERIDGIEN-OXFORDIEN KARSTIQUE entre Seine et Ormain	2073
61	32100	Craie du Gâtinais (Externe)	617
62	4061	CALCAIRE JURASSIQUE DU NIVERNAIS	789
63	4092	BEAUCE	4616
64	3310	CALCAIRES DOGGER entre Armançon et limite de district	3925
65	20070	PLATEAU LORRAIN (Externe)	116
66	31067	Alluvions Oise sur (3106)	121

2.1.1 Correspondance mailles MODCOU – Masses d'eau souterraine

Cette étape sert à définir les règles de transfert entre les mailles MODCOU et les masses d'eau. A cette fin, la géométrie des masses d'eau « rasterisée » sur un carroyage kilométrique en Lambert II est mise en correspondance avec le maillage de la couche de surface de MODCOU, défini également en Lambert II. Après traitement des données, on obtient deux fichiers textes (**Geo-mail.txt** et **Geo-mass.txt**) qui serviront de références pour toute la suite. Ces fichiers contiennent les informations suivantes :

Geo-mail.txt :

n° maille de surface MODCOU, surface de la maille en km², (n° des couches souterraines en relation avec la maille de surface, n° des mailles souterraines en relation avec la maille de surface) de 1 jusqu'à 3, (n° des masses d'eau en relation avec la maille de surface, superficie des masses d'eau dans la maille) de 1 jusqu'à 4. Les couches souterraines sont numérotés de 1 à 3, respectivement pour les nappes Oligocène, Eocène, et Craie. Lorsqu'une couche souterraine est absente, le code relationnel est fixé à 0.

Geo-mass.txt :

n° d'ordre de la masse d'eau, identifiant de la masse d'eau, surface de la masse d'eau, (surfaces de la masse d'eau en correspondance avec les couches souterraines) de 1 jusqu'à 4. Le nombre de couches souterraines vaut 4 pour représenter, dans l'ordre, l'Oligocène, l'Eocène, la Craie et les nappes externes anté-Craie, non représentées par le modèle. Les surfaces sont exprimées en km².

2.2. Données de première phase : alimentation du système hydrologique

Cette phase porte sur la constitution des bases de données de précipitations, d'infiltrations et d'alimentations annuelles des nappes par maille MODCOU et par masse d'eau. Ces données sont présentées sous forme de fichiers textes, directement consultable sur Arcview, et transférable sur MapInfo, à partir des fichiers **maillage-surf.shp** et **ME-raster.shp** servant de support à la visualisation.

2.2.1 Données associées au mailles MODCOU

Les fichiers de précipitations, d'infiltrations et d'alimentation des nappes contiennent des lames d'eau définies sur le maillage MODCOU en mm/an. Ces données sont organisées par année civile (1975 à 2002) ou par année hydrologique (74-75 à 01-02), une année hydrologique débutant par convention le 1^{er} septembre.

Le nom des fichiers est organisé de la façon suivante :

« donnée » « an début » « an fin » « type ».txt

avec

« donnée » : Precip, Infilt ou AlimAq (correspondant respectivement à la précipitation incluant la pluie et la neige, à l'infiltration à la base des sols, et à l'alimentation des aquifères en sortie de zone non saturée)

« an début », « an fin » : les données sont stockées sur une période de temps incluse entre les limites « an début » et « an fin »

« type » : _civ, _hyd (pour année civile ou hydrologique)

Chaque ligne correspond à un numéro de maille. Les colonnes comportent le numéro des mailles du modèle et les valeurs annuelles. L'ensemble représente un total de 6 fichiers relatifs aux 35698 mailles de surface.

2.2.2 Données associées aux masses d'eau souterraines

Un groupe de fichiers définis sur les masses d'eau, organisés par année civile ou par année hydrologique concernent les variables suivantes :

- précipitations moyennes annuelles totales et sur chaque aquifère
- précipitations minimales annuelles totales et sur chaque aquifère
- précipitations maximales annuelles totales et sur chaque aquifère
- précipitations médianes annuelles totales et sur chaque aquifère
- idem pour l'infiltration au niveau du sol
- idem pour l'alimentation des nappes.

Le nom des fichiers est organisé de la façon suivante :

« donnée » « an début » « an fin » « type », « stat » _mass.txt

avec

« donnée » : Precip, Infilt ou AlimAq (correspondant respectivement à la précipitation incluant la pluie et la neige, à l'infiltration à la base des sols, et à l'alimentation des aquifères en sortie de zone non saturée)

« an début », « an fin » : les données sont stockées sur une période de temps incluse entre les limites « an début » et « an fin »

« type » : _civ, _hyd (pour année civile ou hydrologique)

« stat » : variable statistique calculée sur la surface occupée par une masse d'eau souterraine. Stat correspond à -min, -max, -moy, -med pour minimum, maximum, moyenne et médiane.

Pour tenir compte du fait qu'une même masse d'eau souterraine peut être en relation avec plusieurs aquifères distincts, les variables fournies dans les fichiers (précipitation, infiltration, alimentation des aquifères, avec leurs valeurs minimales, maximales, moyennes ou médianes) sont calculées sur les différentes couches du modèle hydrologique. On peut donc afficher les valeurs calculées, d'une part, sur la surface totale occupée par une masse d'eau et, d'autre part, sur la surface de la masse d'eau qui se trouve en relation avec la partie affleurante d'un aquifère donné. On distingue donc 5 niveaux d'information, notées par un suffixe, de la façon suivante :

c0 : totalité de la surface de la masse d'eau

c1 : masse d'eau en relation avec la couche Oligocène

c2 : masse d'eau en relation avec la partie affleurante de la couche Eocène

c3 : masse d'eau en relation avec la partie affleurante de la couche Craie

c4 : masse d'eau en relation avec les aquifères anté-Craie, située essentiellement sur la périphérie orientale du bassin de la Seine.

L'ensemble représente un total de 24 fichiers relatifs à 66 masses d'eau souterraines, en incluant les masses d'eau alluvionnaires.

2.3. Données de seconde phase : paramètres du système hydrogéologique

Cette phase porte sur l'intégration des données suivantes par maille souterraine MODCOU et par masse d'eau :

- Epaisseur de la zone non-saturée
- Transmissivité et coefficient d'emménagement
- Concentrations en nitrate calculés par MODCOU dans le domaine souterrain

Ces données sont présentées sous forme de fichiers textes, directement consultable sur ArcView, et transférable sur MapInfo, à partir des fichiers shapefile servant de support à la visualisation.

2.3.1 Epaisseur de la zone non-saturée

Les fichiers **Nsat_Me_ « nom-aquifère ».txt** fournissent par masse d'eau la valeur médiane, maximale, minimale et moyenne de l'épaisseur de la zone non saturée en mètre. Le champs « surf » de la table indique la surface kilométrique renseignée sur la masse d'eau par le maillage. L'absence de correspondance entre les maillages MODCOU et les masses d'eau est traduite par la valeur 999. Pour visualiser les valeurs par masses d'eau, chaque fichier doit être joint par le champs « ordre » au champ « numordre » de **Me.shp**

Les fichiers **Nsat_ « nom-aquifère ».txt** fournissent l'épaisseur de la zone non saturée en mètre pour chaque maille MODCOU de l'aquifère considéré. Chaque fichier doit être joint par le champs identifiant au champs identifiant du fichier de forme aquifère correspondant.

2.3.2 Transmissivité et coefficient d'emménagement

Les fichiers **Trans_Me_ « nom-aquifère ».txt** et **Emm_Me_ « nom-aquifère ».txt** fournissent par masse d'eau la valeur médiane, maximale, minimale et moyenne de la transmissivité T (m^2/s) et du coefficient d'emménagement S. Le champs « surf » de la table indique la surface kilométrique renseignée sur la masse d'eau par le maillage. L'absence de correspondance entre les maillages MODCOU et les masses d'eau est traduite par la valeur 999. Chaque fichier doit être joint par le champs « ordre » au champ « numordre » de **Me.shp**

Les fichiers **Transmiss « nom-aquifère ».txt** et **Emm « nom-aquifère ».txt** fournissent respectivement la transmissivité T (m^2/s) et le coefficient d'emménagement S pour chaque maille MODCOU de l'aquifère considéré. Chaque fichier doit être joint par le champs identifiant au champs identifiant du fichier de forme aquifère correspondant.

3. Exemples de résultats d'exploitation de la base de données sur les masses d'eau

Les exemples qui suivent constituent une exploitation directe des bases de données qu'il est possible de visualiser au moyen du logiciel ArcView.

3.1. Représentation de l'alimentation des nappes sur une masse d'eau

La **Figure 4** donne l'information sur l'alimentation des nappes présentes sur la masse d'eau 3103 « Brie ». Cette masse d'eau concerne plusieurs aquifères contenus dans les Calcaires de Brie et Calcaires de Champigny (couche souterraine Oligocène de MODCOU) et dans les Calcaires grossiers et les Sables du Soissonnais (couche souterraine Eocène de MODCOU). La table des attributs des masses d'eau a été jointe à celle des alimentations moyennes annuelles des nappes. On peut lire sur la table incluse dans la figure que pour l'année 1975, la masse d'eau reçoit en moyenne 133 mm d'eau,

se répartissant en 124 mm sur l'Oligocène et 140 mm sur l'Eocène. On peut également lire que la couche C3 (couche souterraine de la craie dans MODCOU) reçoit aussi de l'eau. Ceci n'est pas fondé dans la mesure où cette masse d'eau de Brie ne se situe jamais sur la craie ; il s'agit d'une séquelle du fait que les maillages de MODCOU ont été constitués indépendamment des masses d'eau et qu'il peut ainsi apparaître le long des contours des mailles parasites appartenant en réalité à des masses d'eau voisines. Ce « bruit » sera corrigé dans une phase future et doit être pris en compte, au cas par cas, par l'utilisateur pour l'instant.

3.2. Représentation de l'alimentation des nappes sur l'ensemble des masses d'eau

La **Figure 5** représente une cartographie de l'alimentation des nappes globalisée sur chaque masse d'eau, y compris les masses d'eau alluvionnaires. Il est encore à ce stade possible de distinguer les alimentations par aquifère en se référant à la table des attributs jointe aux identifiants des masses d'eau. On constate une variabilité globale de l'alimentation de 120 à 310 mm pour l'année 1975, faisant apparaître un fort contraste entre les zones périphériques est-ouest et le centre du bassin.

3.3. représentation de l'alimentation des nappes sur le maillage MODCOU

La **Figure 6** exploite la base de données au maximum de ses possibilités de discrétisation spatiale, en affichant l'alimentation des nappes sur les mailles de surface de MODCOU. La table des attributs permet alors la lecture des valeurs par maille. On retrouve pour l'année 1975, les mêmes tendances spatiales que dans la représentation par masse d'eau avec toutefois un creusement de l'amplitude maximale dû au raffinement de l'échelle spatiale.

4. Exemples d'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau

Ce point décrit une exploitation plus élaborée des bases de données constituées sur les masses d'eau en introduisant la notion de pression quantitative exercée sur la ressource. Pour ce faire les alimentations disponibles au niveau des nappes par masses d'eau ont été comparées aux prélèvements effectués dans les eaux souterraines.

La **Figure 7** montre les volumes moyens annuels (1997-2001) prélevés au regard de la recharge annuelle moyenne par masse d'eau sur la période des 30 dernières années. On constate, au vu des camemberts indiquant les volumes prélevés, que les masses d'eau qui comportent des aquifères d'extension régionale (Oligocène, Eocène, craie) dans le centre du bassin, et les masses d'eau alluvionnaires bordant les grands cours d'eau, sont les plus sollicitées, alors que les masses d'eau de la périphérie comportant du socle ou des aquifères morcelés, parfois karstiques, difficiles à exploiter le sont beaucoup moins. La « pression » moyenne exercée sur les masses d'eau exprimée comme le rapport entre les prélèvements et la recharge, indiquée par une coloration des masses d'eau sur la figure, traduit cette spatialisation de l'utilisation de la ressource dans la mesure où seulement 4 masses d'eau du centre du bassin affichent une reprise par les prélèvements s'élevant entre 20 à 50% de l'alimentation : les alluvions de la Seine amont (3007), le Mantois/sables de Fontainebleau/Beauce (3102), les alluvions de la Seine moyenne et aval (3001) et la craie de l'estuaire de la Seine (3202)

Remarquons que ces évaluations ne constituent pas un bilan des masses d'eau souterraine au sens hydrodynamique du terme que seul une modélisation de l'écoulement permettrait de faire. Elles reflètent toutefois bien une expression de la pression anthropique qui est exercée sur la ressource locale qui permet d'apprécier le risque d'une fragilité quantitative de la ressource.

La **Figure 8** compare, cette fois-ci, les prélèvements moyens annuels avec la recharge annuelle minimale observées au cours des 30 dernières années. La pression est évidemment plus élevée mais reste inférieure à 100% sauf pour les masses d'eau Seine amont, Mantois, Bassée et Beauce. Pour les raisons qui viennent d'être évoquées, cette constatation n'est pas un signe de surexploitation, mais un élément d'appréciation d'un risque accru dans ces régions.

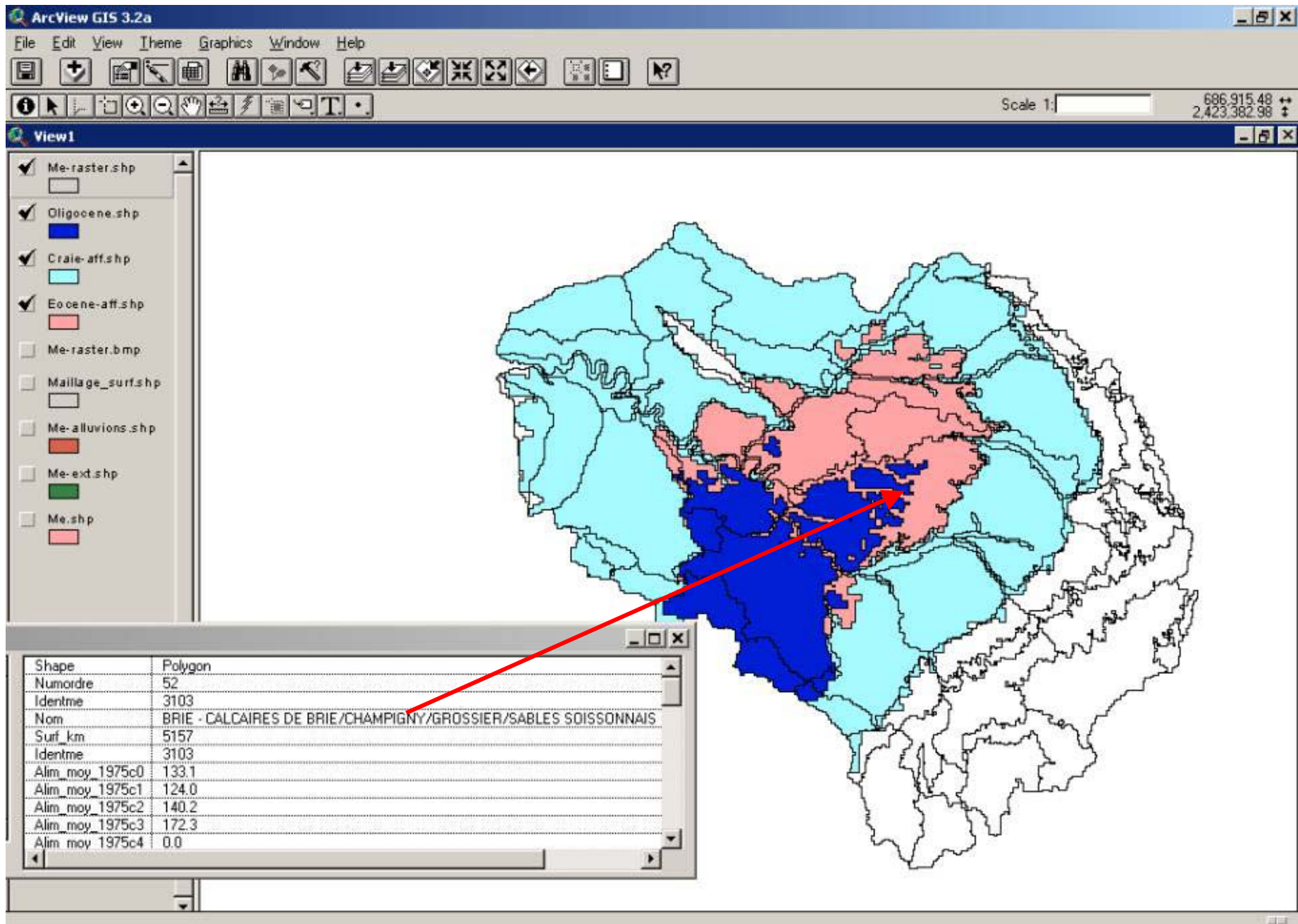


Figure 4 : Visualisation d'une masse d'eau pluri-aquifère en Brie

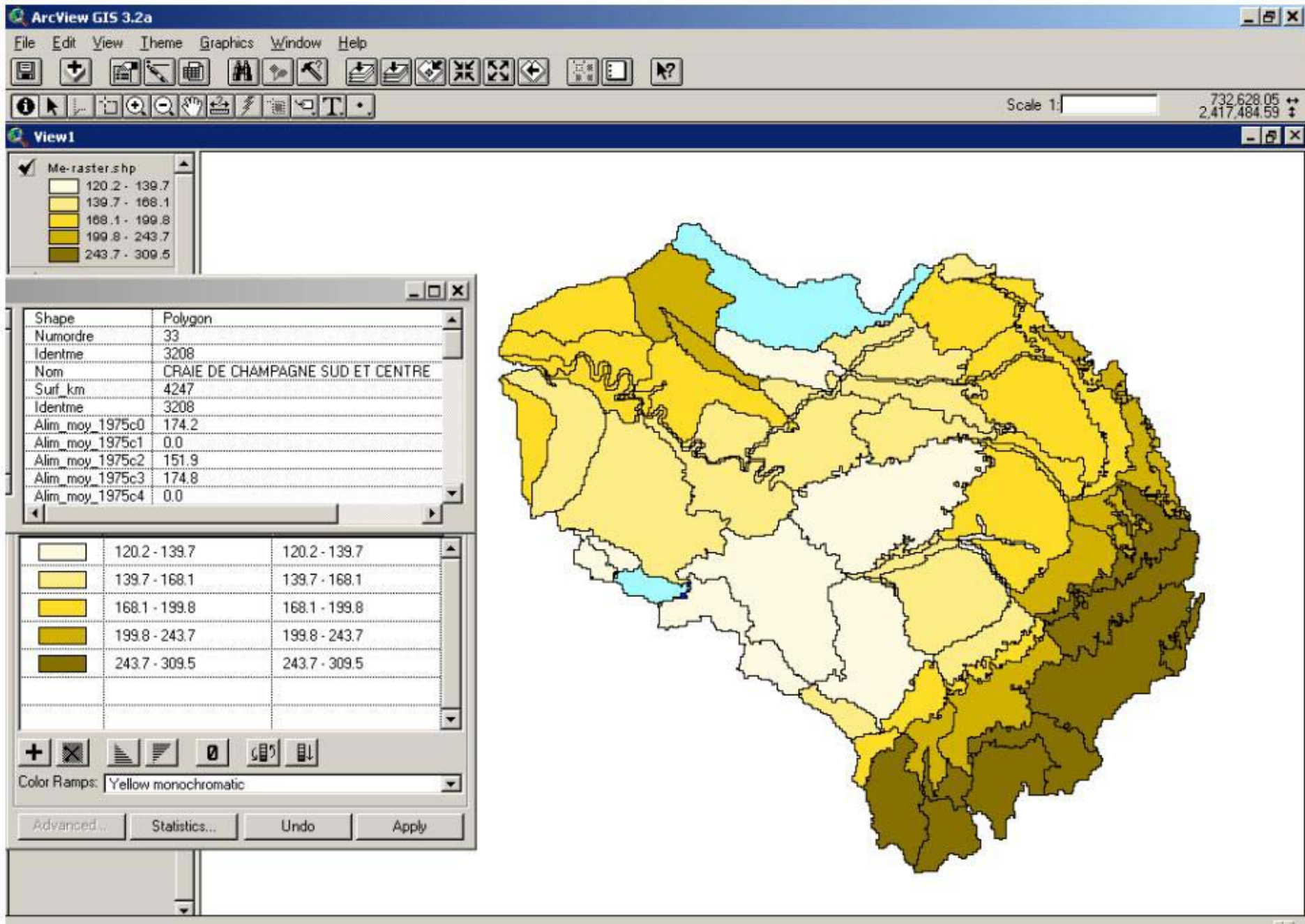


Figure 5 : Visualisation de l'alimentation des nappes sur les masses d'eau

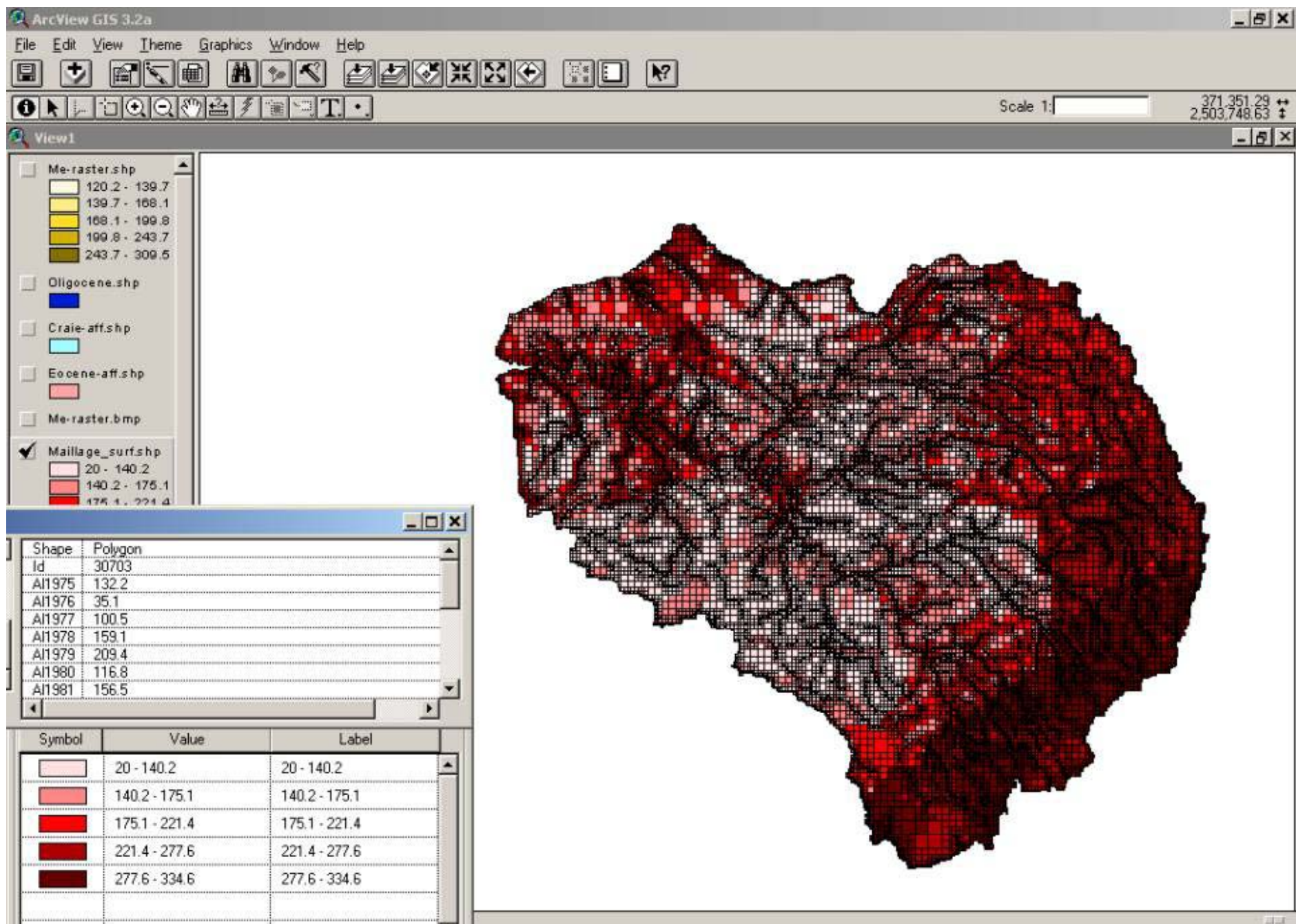


Figure 6 : Visualisation de l'alimentation des nappes sur le maillage de surface de MODCOU

Les prélèvements et la recharge des masses d'eau souterraine

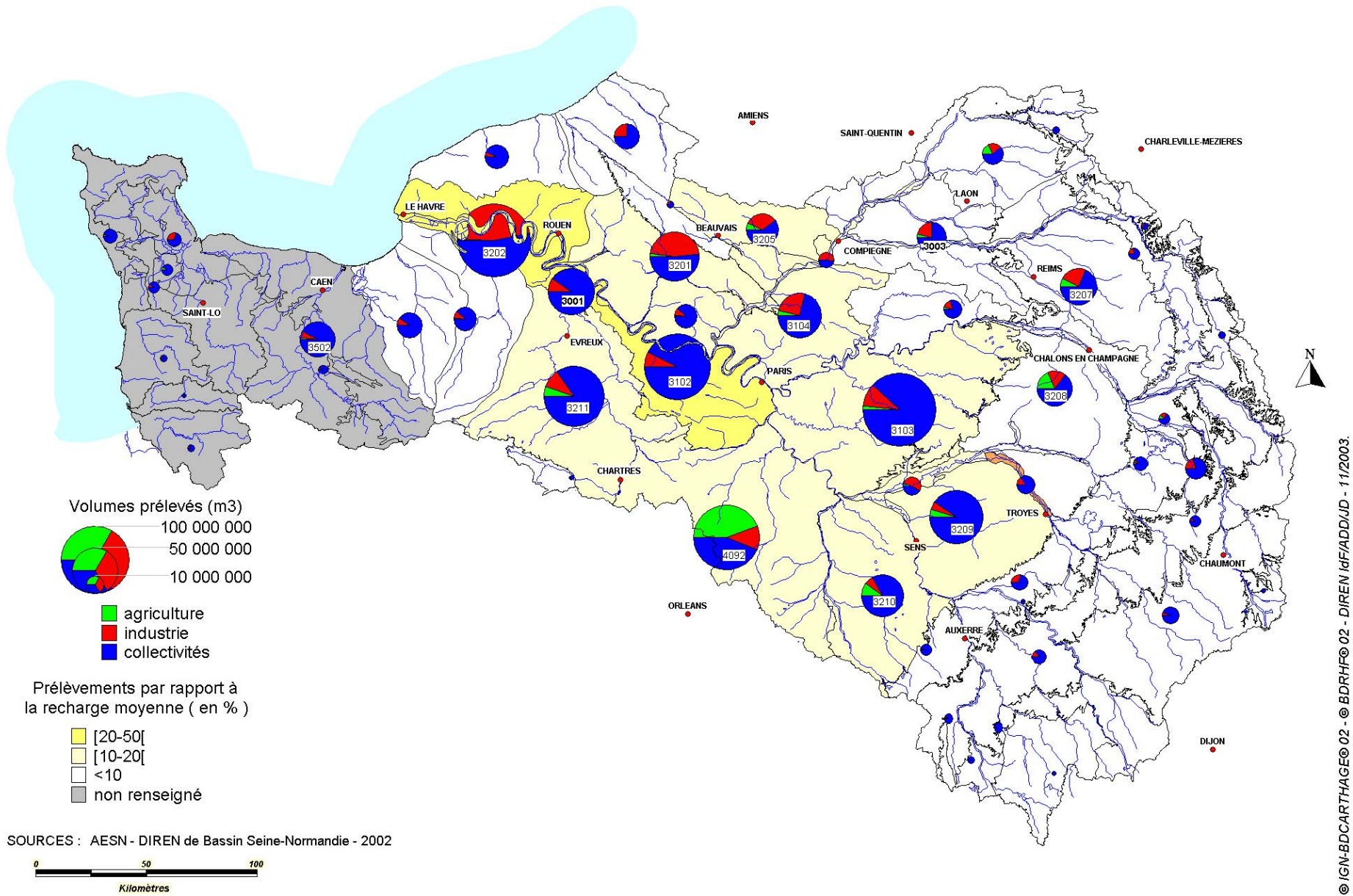


Figure 7 : Comparaison entre la recharge moyenne des masses d'eau sur 30 ans et les prélèvements de l'année 2001

Risques quantitatifs encourus par les masses d'eau souterraine

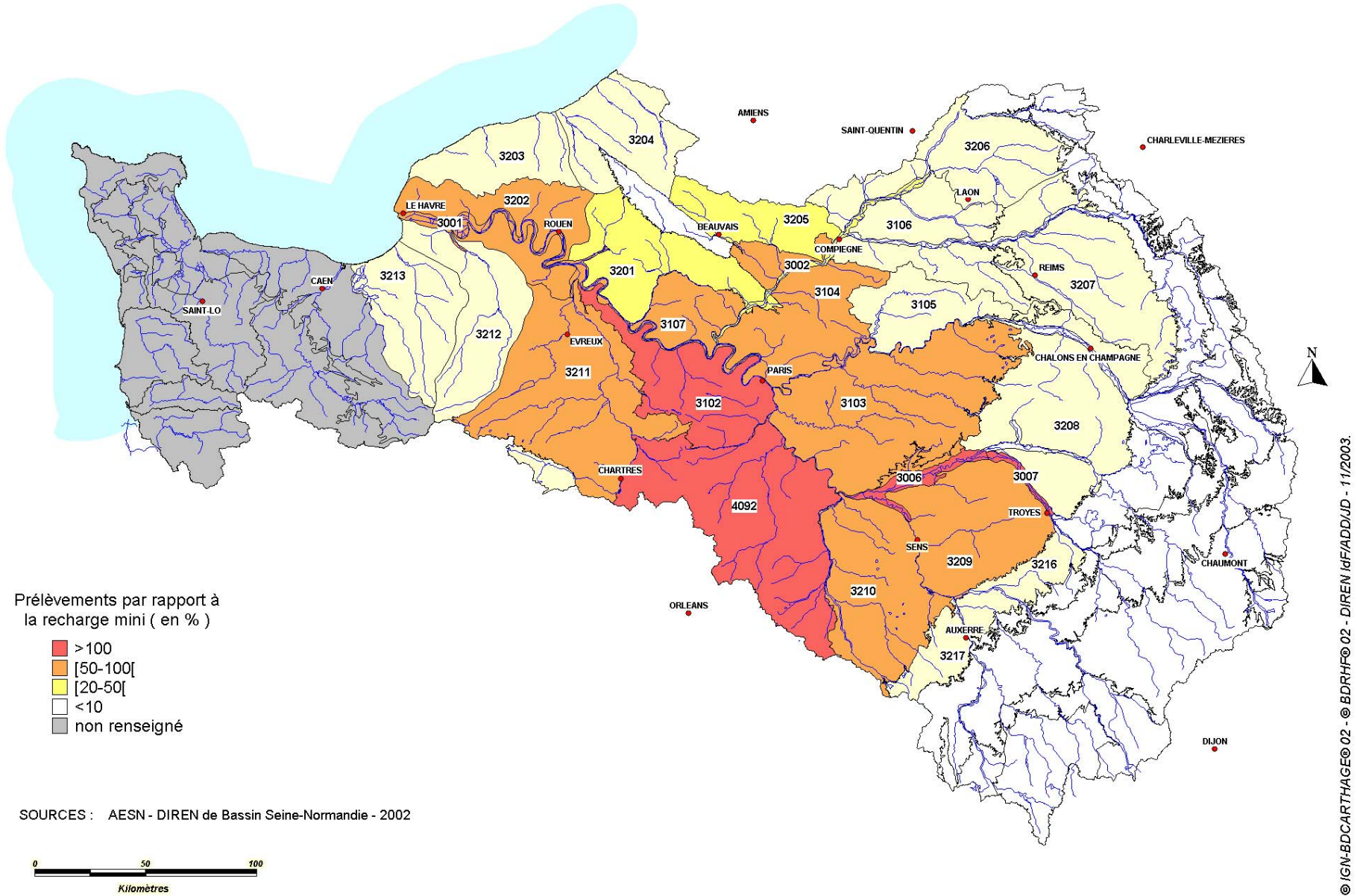


Figure 8 : Comparaison entre la recharge minimale des masses d'eau et les prélèvements sur l'année 2001

5. Conclusions et perspectives

Le travail qui vient d'être décrit ne constitue pas une innovation scientifique, mais permet la valorisation pour des objectifs opérationnels de l'un des modèles du PIREN-Seine. La méthodologie de transfert des bases de données MODCOU sur les masses d'eau est simple et autorisera une mise à jour en continu au fur et à mesure de l'évolution de MODCOU, sur un support SIG d'usage très répandu. Par ailleurs les données de MODCOU concernant les paramètres de structure des aquifères (épaisseur de la zone non-saturée, transmissivité, coefficient d'emménagement) seront utilisés par les DIREN et l'Agence de l'Eau pour remplir les fiches de caractérisation des masses d'eau. La confrontation de ces données avec des données observées localement devrait contribuer à enrichir le débat.

L'étape suivante consistera à aborder la caractérisation qualitative des masses d'eau en intégrant les résultats des simulations sous différents scénarios des pollutions azotées en aquifères réalisables au moyen de la chaîne MODCOU-STICS.

6. Bibliographie

- Gomez, E. (2002). Modélisation intégrée du transfert de nitrate à l'échelle régionale dans un système hydrologique. Application au bassin de la Seine. *Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris*, 287 pp.
- Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) (2003). *Horizontal Guidance "Water Bodies" – Final Version 10.0. 14-01-03*