



# Étude et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères du département de l'Indre-et-Loire

Rapport final

**BRGM/RP-53446-FR**  
novembre 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
de Service public du BRGM 2004 PSP03CEN25

**J.C. Martin, Ph. Maget**

**Mots clés** : Vulnérabilité, Cartographie, Aquifères, Hydrogéologie, Indre-et-Loire.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Martin J.C., Maget Ph.** (2004) – Étude et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères du département de l'Indre-et-Loire. Rapport final. Rapport BRGM/RP-53446-FR, 78 p., 19 fig., 4 tabl., 2 ann.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Une cartographie du risque de pollution par les produits phytosanitaires est en cours d'élaboration par le GREPPES, à l'échelle de la région Centre. Cette cartographie tient compte de tous les paramètres qui entrent en jeu dans le processus de vulnérabilité des eaux et qui sont étudiés par les organismes participant à cette cartographie, les chambres d'agriculture et l'INRA. L'objectif de cette étude, réalisée par le BRGM, est de caractériser la couche « vulnérabilité des nappes » pour le département de l'Indre-et-Loire.

Cette étude est financée conjointement par la DIREN Centre et le BRGM sur ses crédits de Service public.

Le traitement numérique et le calcul de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères du département de l'Indre-et-Loire a été possible à partir de l'application d'une méthode basée sur un découpage géographique par mailles de 500 m de côté, en utilisant les valeurs de cinq paramètres qui sont les facteurs les plus importants pour la détermination de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère, à savoir la valeur de la pluie efficace, la pente du sol, la présence ou non d'une couverture imperméable, la perméabilité des aquifères sous-jacents et la profondeur de la nappe.

Les calculs de vulnérabilité ont abouti à déterminer une note de vulnérabilité comprise entre 0 et 25 à chacune des mailles de ce découpage, et à définir ainsi une échelle de vulnérabilité en cinq classes qui vont de non vulnérable à très fortement vulnérable.

À partir de cette grille, le calcul de la vulnérabilité moyenne par commune a permis d'affecter à chaque commune du département une valeur moyenne de la vulnérabilité des aquifères.

Sur les 277 communes du département, plus de la moitié présente une vulnérabilité intrinsèque des aquifères faiblement ou moyennement vulnérable, 100 communes sont situées en zones fortement ou très fortement vulnérables.

Les résultats de cette étude gardent pour le moment un caractère provisoire. En effet, l'établissement de la carte de vulnérabilité des autres départements de la région Centre est en cours d'élaboration. Ce n'est qu'une fois terminé le travail sur l'ensemble des six départements de la région Centre qu'il sera possible de décider une fois pour toute l'échelle de vulnérabilité en cinq classes proposée, ceci dans un souci d'homogénéisation des traitements et des interprétations.



# Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	9
<b>2. Objectif et méthodologie</b> .....	11
<b>3. Données de l'étude</b> .....	15
<b>4. Cartographie des formations géologiques</b> .....	16
4.1. DOCUMENTS UTILISÉS .....	16
4.2. AQUIFÈRES LIBRES DU DÉPARTEMENT .....	18
4.2.1. Les alluvions .....	19
4.2.2. Le Calcaire et les Faluns de Touraine .....	19
4.2.3. La Craie du Sénonien-Turonien .....	20
4.2.4. Les Sables du Cénomaniens .....	20
4.2.5. Les Calcaires du Jurassique .....	21
4.3. LES AUTRES AQUIFÈRES DE LA RÉGION CENTRE .....	21
4.4. SYSTÈMES AQUIFÈRES .....	24
4.4.1. Introduction .....	24
4.4.2. Codification .....	24
4.4.3. Commentaires de la carte .....	24
4.5. CLASSES DE PERMÉABILITÉ .....	29
4.5.1. Méthodologie .....	29
4.5.2. Les différents domaines de perméabilité rencontrés dans le département de l'Indre-et-Loire .....	31
4.6. RECOUUREMENTS IMPERMÉABLES .....	32
4.6.1. Méthodologie .....	32
4.6.2. Carte pour les sites de stockage de déchets ultimes .....	33
<b>5. Pluie efficace sur le département de l'Indre-et-Loire</b> .....	35
<b>6. L'altitude du sol et les pentes du terrain</b> .....	37
<b>7. Recherche de la profondeur et suivi des niveaux des nappes</b> .....	39

<b>8. Création d'une grille de calcul et élaboration des critères entrant en jeu dans le calcul de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères</b> .....	43
8.1. CRÉATION D'UNE GRILLE DE CALCUL .....	43
8.2. DESCRIPTION DES VARIABLES ET DES VALEURS AFFECTÉES AUX VARIABLES .....	43
8.2.1. Description des champs nécessaires au calcul de la vulnérabilité des nappes.....	43
8.2.2. Pluie efficace (Variable V1).....	43
8.2.3. Pente du sol (Variable V2) .....	44
8.2.4. Couverture imperméable (Variable V3).....	44
8.2.5. Classe de perméabilité des aquifères (Variable V4) .....	44
8.2.6. Épaisseur de la zone non saturée (Variable V5).....	45
<b>9. Calcul de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères et affectation d'une note de vulnérabilité par commune</b> .....	51
9.1. CALCUL DE LA VALEUR DE LA VULNÉRABILITÉ, CHOIX DU MODÈLE DE CALCUL .....	51
9.2. CARTE DE VULNÉRABILITÉ PROVISOIRE DES COMMUNES DU DÉPARTEMENT .....	55
<b>10. Conclusion</b> .....	57

## Liste des figures

Figure 1 - Tableau synoptique de calcul et de cartographie du risque de pollution des eaux superficielles et des eaux souterraines (document GREPPES).....	12
Figure 2 - Schéma de principe de l'étude de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère. Les paramètres étudiés.....	14
Figure 3 - Coupures des feuilles au 1/50 000 du département de l'Indre-et-Loire.....	18
Figure 4 - Systèmes aquifères et domaines en Indre-et-Loire. Extrait de la carte de France au 1/1 000 000 (Version V.1 199).....	27
Figure 5 - Carte des types de perméabilité des aquifères superficiels. ....	30
Figure 6 - Cartographie des formations argileuses superficielles en Indre-et-Loire (extrait du rapport BRGM n° R 38233).....	34
Figure 7 - Carte de France des précipitations efficaces moyennes sur la période 1946-2001 (d'après MEDD). ....	36

Figure 8 - Carte des altitudes du sol (MNT).....	37
Figure 9 - Points d'eau BSS – BRGM.....	40
Figure 10 - Points d'eau BSS - BRGM avec mesure piézométrique. ....	41
Figure 11 - La profondeur des forages et des niveau des nappes. ....	42
Figure 12 - Carte des pluies efficaces. ....	46
Figure 13 - Carte des pentes du sol.....	47
Figure 14 - Carte de la couverture imperméable. ....	48
Figure 15 - Carte des perméabilités des aquifères.....	49
Figure 16 - Carte de la profondeur des nappes.....	50
Figure 17 - Histogramme des valeurs de vulnérabilité intrinsèque des mailles du département de l'Indre-et-Loire. ....	52
Figure 18 - Carte de vulnérabilité (valeur par maille).....	54
Figure 19 - Carte vulnérabilité (valeur provisoire par commune).....	56

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Systèmes aquifères et domaines en Indre-et-Loire codification (v.1).....	28
Tableau 2 - Échelle des perméabilités.....	29
Tableau 3 - Tableau explicatif des classes de perméabilité en Indre-et-Loire. ....	31
Tableau 4 - Les différentes classes de perméabilité. ....	45

## Liste des annexes

Annexe 1 - Les communes du département de l'Indre-et-Loire .....	59
Annexe 2 - Création d'un maillage de mailles carrées de 500 m de côté, couvrant l'ensemble de la région Centre.....	69



# 1. Introduction

Une cartographie du risque de pollution par les produits phytosanitaires est en cours d'élaboration par le GREPPES, à l'échelle de la région Centre. Cette cartographie tient compte de tous les paramètres qui entrent en jeu dans le processus de vulnérabilité des eaux et qui sont étudiés par les organismes participant à cette cartographie, les chambres d'agriculture et l'INRA. L'objectif de cette étude, réalisée par le BRGM, est de caractériser la couche « vulnérabilité des nappes » pour le département de l'Indre-et-Loire.

Cette étude est financée conjointement par la DIREN Centre et le BRGM sur ses crédits de Service public.



## 2. Objectif et méthodologie

### 2.1. CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE POLLUTION DES EAUX PAR LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES EN RÉGION CENTRE

Les ministères chargés de l'Agriculture et de l'Environnement ont lancé en août 2000 un programme national d'actions visant à réduire les pollutions des eaux par les produits phytosanitaires. Ces **actions** doivent être mises en place sur des **bassins versants jugés prioritaires** par les groupes régionaux d'étude de la pollution des eaux par les produits phytosanitaires. Afin de définir ces zones d'action prioritaire, le GREPPES de la région Centre a décidé dès 2000 de réaliser une **cartographie du zonage du risque de pollution** des eaux par les produits phytosanitaires.

Le **but** de ce diagnostic régional est donc de **réaliser la cartographie**, à l'échelle de la région Centre, des **zones ayant a priori un risque** vis-à-vis de la pollution des eaux superficielles et souterraines par les produits phytosanitaires. Le diagnostic régional se base sur un « **modèle** » de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux conçu pour être **pertinent à l'échelle de la région**. En aucun cas, il ne peut être utilisé à la précision du bassin versant et encore moins celle de la parcelle. De plus, il détermine une probabilité de présence ou non de la pollution et non pas un constat de la pollution.

Un certain nombre de paramètres a été retenu, portant essentiellement sur la **sensibilité du milieu** (comportement hydrologique), sur la **charge phytosanitaire** et sur les **enjeux** environnementaux, alimentaires et touristiques. La combinaison de ces trois thèmes compose le cœur du modèle.

**À partir de ce modèle, deux cartes** seront réalisées :

- une sur le risque de pollution des **eaux superficielles** par les produits phytosanitaires ;
- une autre sur le risque de pollution des **eaux souterraines** par les produits phytosanitaires.

En effet, les paramètres caractérisant la sensibilité du milieu aux transferts des produits phytosanitaires ne sont pas les mêmes pour le transfert vers les eaux superficielles que pour les eaux souterraines. On présente sur la figure 1 la combinaison des données, réparties en trois couches.

La méthode utilisée dans ce modèle est celle dite des **Scores**. Elle est basée sur la combinaison de cartes d'attributs physiographiques. Ainsi, la conjonction d'attributs spécifiques dans une zone donnée conduit à la classer comme vulnérable. Des poids sont affectés aux différents attributs pour construire une échelle de classes de vulnérabilité. Ces poids sont déterminés par des collèges d'**experts**.

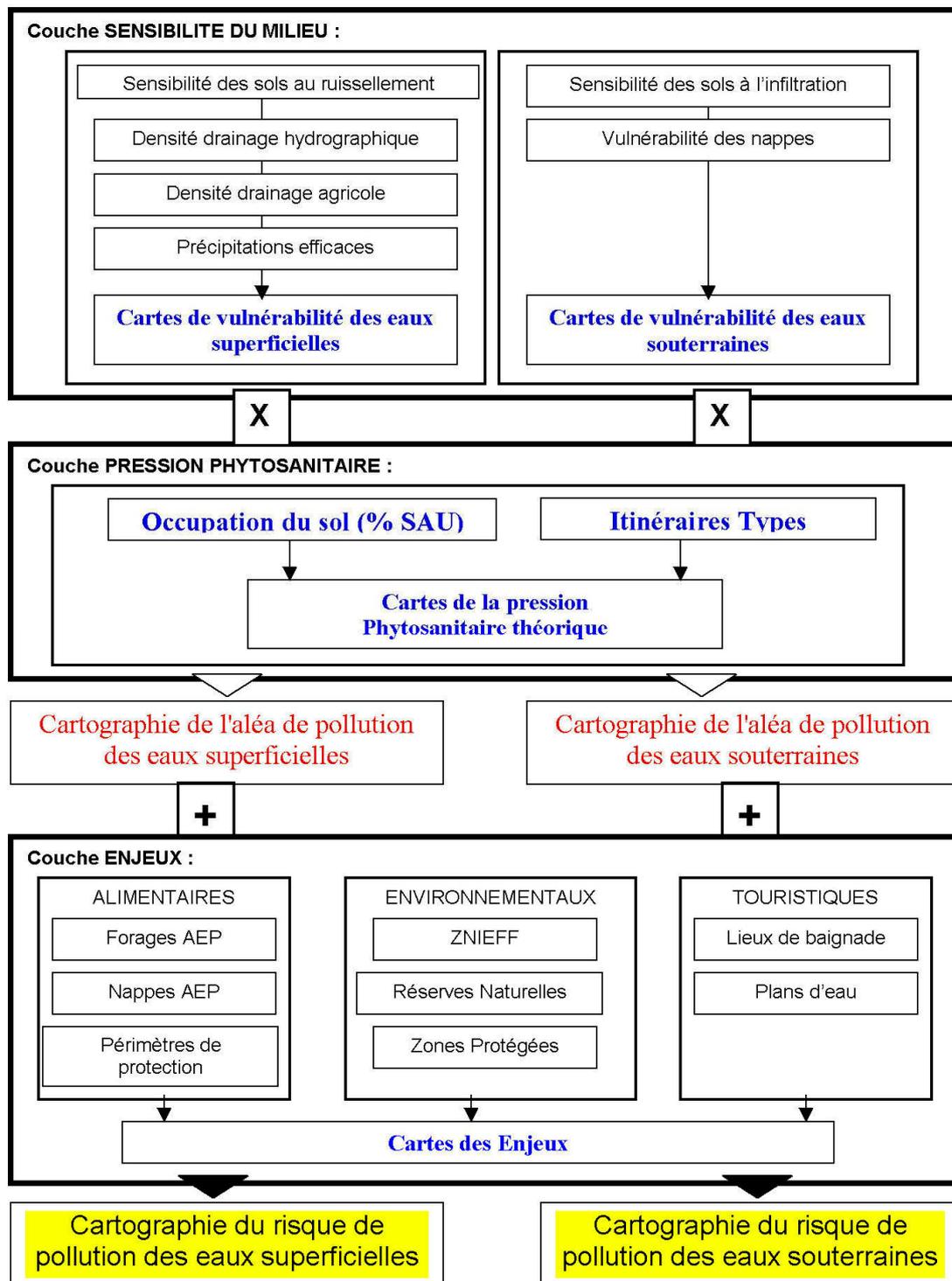


Figure 1 - Tableau synoptique de calcul et de cartographie du risque de pollution des eaux superficielles et des eaux souterraines (document GREPPES).

## 2.2. CARTE DE VULNÉRABILITÉ DES AQUIFÈRES

L'objectif est **d'étudier la vulnérabilité intrinsèque des aquifères** qui représente la couche hydrogéologique de la cartographie du risque de pollution.

À partir de plusieurs paramètres hydrogéologiques, il sera **défini cinq classes de vulnérabilité des eaux souterraines**. Une cartographie des zones de vulnérabilité sera réalisée sur l'ensemble du département de l'Indre-et-Loire **se rapportant *in fine* aux contours des limites communales**. Ainsi, il sera attribué pour chaque commune une note de 1 à 5 sur l'échelle de vulnérabilité des eaux souterraines.

Ces informations viendront compléter les informations rassemblées par le GREPPES pour la réalisation de la carte du risque de pollution phytosanitaire.

Dans l'opération proposée, il s'agit d'une évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères, sans prendre en compte ni la nature des polluants et ni les pressions polluantes.

La décomposition sous forme cartographique des différents paramètres qui concourent à la définition de la vulnérabilité d'un aquifère (géologie de surface, nature de l'aquifère, caractéristiques intrinsèques...), permettra d'agir sur les paramètres de manière sélective.

On présente sur la figure 2 le schéma de principe retenu pour l'étude de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère et les paramètres étudiés.

On différenciera les paramètres suivants :

- la pluie efficace qui va favoriser la dissolution des produits et leur infiltration dans la nappe sous-jacente ;
- la pente du sol qui définit la part ruissellement de l'infiltration dans la nappe ;
- la présence ou non d'une couverture géologique imperméable ;
- la perméabilité des aquifères (type de perméabilité, degré de karstification/fissuration, hétérogénéité) ;
- l'épaisseur de la zone non-saturée.

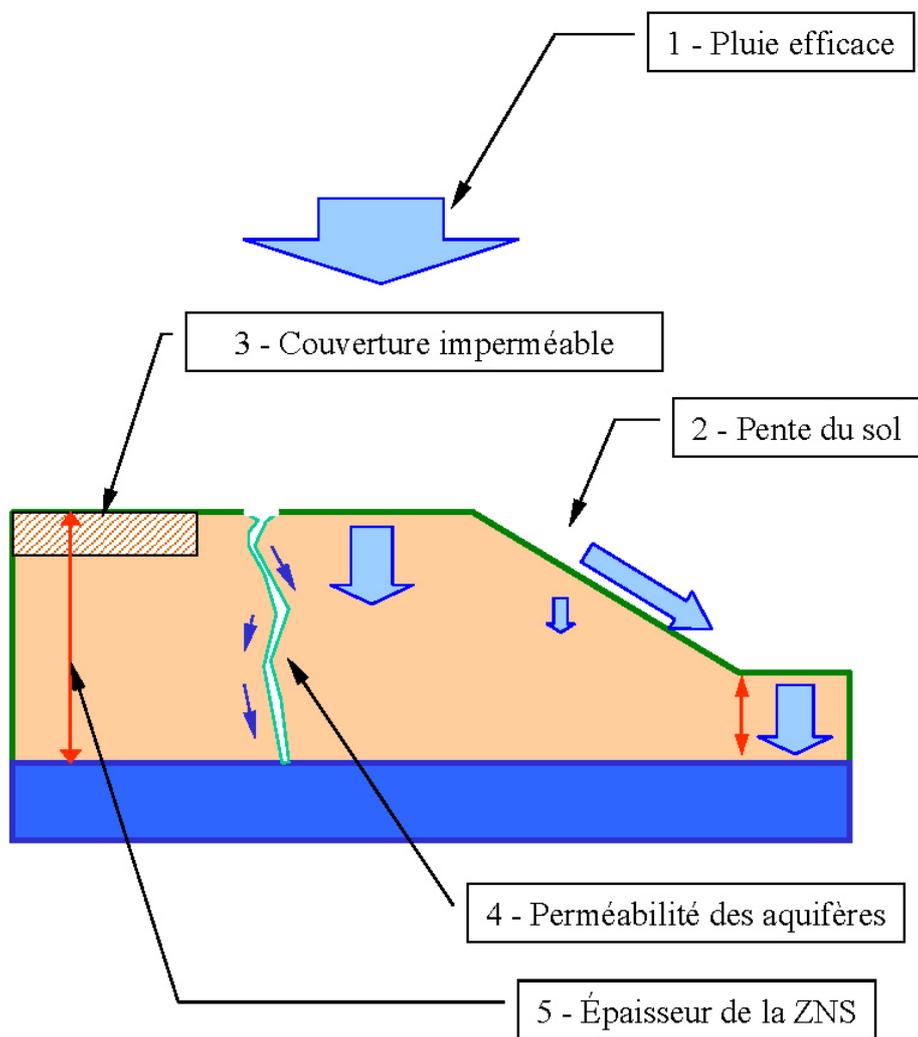


Figure 2 - Schéma de principe de l'étude de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère.  
Les paramètres étudiés.

### 3. Données de l'étude

Les données utilisées pour cette étude sont indiquées ci-dessous :

- cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000 (18 cartes géologiques au total) ;
- données de la BSS (coupes géologiques, données piézométriques) ;
- documentation disponible (synthèses hydrogéologiques concernant tout ou partie du département - voir chapitre suivant) ;
- les fichiers numériques des systèmes aquifères de la BDRHF V1 ;
- le MNT du département (altitude au sol au pas de 50 m de l'IGN) ;
- le tracé des cours d'eau de la BD Carthage ;
- la pluie efficace (résultats des calculs et fichier du MEDD) ;
- BD CARTO de l'IGN (mise à disposition par le SRPV pour cette étude).

## 4. Cartographie des formations géologiques

### 4.1. DOCUMENTS UTILISÉS

Liste des documents publics disponibles au BRGM, à l'exclusion des rapports d'étude pour tiers :

- « Les nappes des Sables cénomaniens et de la Craie dans le Maine, l'Anjou et la Touraine ». 1964. BRGM, rapport n° DSGR 64 A 111 ;
- « Étude hydrogéologique de la Touraine. Inventaire des points d'eau et des ressources hydrauliques de l'agglomération de Tours ». 1969. BRGM, rapport n° 69 SGL 201 BDP ;
- « Étude hydrogéologique de la Touraine. Hydrogéologie du Cénomaniens dans l'Indre-et-Loire ». 1970. BRGM, rapport n° 70 SGN 169 BDP ;
- « Étude hydrogéologique de la Touraine. Inventaire des points d'eau et des ressources hydrauliques de la partie amont de du bassin de la Vienne ». 1971. BRGM, rapport n° 71 SGN 341 BDP ;
- « Étude de la nappe du Cénomaniens de Touraine ». 1980. BRGM, rapport n° 80 SGN 285 CEN ;
- « Étude hydrogéologique des Calcaires lacustres dans la fosse d'Esvres entre le Cher et l'Indre ». 1980. BRGM, rapport n° 80 SGN 673 CEN ;
- « Étude hydrogéologique des Calcaires du Jurassique de la région de Richelieu ». 1982. BURGEAP, rapport n° NT.1219-E.846 ;
- « Catalogue des systèmes aquifères ». 1983. Agence de l'Eau Loire - Bretagne.
- « Carte piézométrique de la nappe du Cénomaniens, situation 1986 ». 1987. BRGM, rapport n° 87 SGN 229 CEN ;
- « Schéma de gestion des ressources en eau dans le département d'Indre-et-Loire ». 1988. BRGM, rapport n° ?? ;
- « Contribution à la recherche de sites pour l'implantation d'un centre de stockage de déchets ultimes stabilisés en région Centre ». 1994. BRGM, rapport n° R 38233 ;
- « Nappe du Cénomaniens du bassin Loire-Bretagne. Piézométrie 1994 ». 1995. BRGM, rapport n° R 38582 ;
- « Étude hydrogéologique de la nappe du Cénomaniens ». 1999. GAUDRIOT-Centre (G. Pierson) ;
- Notices hydrogéologiques des cartes géologiques au 1/50 000 :
  - 425 : Le Lude T. Collet, R. Giordano, 1991
  - 426 : Château-du-Loir Ph. Maget, 1999

· 427 :	Château-Renault	N. Desprez,	1975
· 456 :	Noyant	H.P. Etienne, N. Desprez,	1984
· 457 :	Tours	N. Desprez,	1974
· 458 :	Amboise	G. Alcaydé,	1968
· 486 :	Chinon	G. Alcaydé,	1975
· 487 :	Langeais	BRGM,	1972
· 488 :	Bléré	L. Rasplus,	1982
· 513 :	Loudun		1989
· 514 :	Sainte-Maure-de-Touraine	G. Alcaydé,	1978
· 516 :	Châtillon-sur-Indre	G. Alcaydé,	1990
· 541 :	Châtelleraut		1974
· 542 :	Preuilly-sur-Claise	L. Rasplus,	1978

Le découpage des feuilles au 1/50 000 est indiqué sur la figure 3.

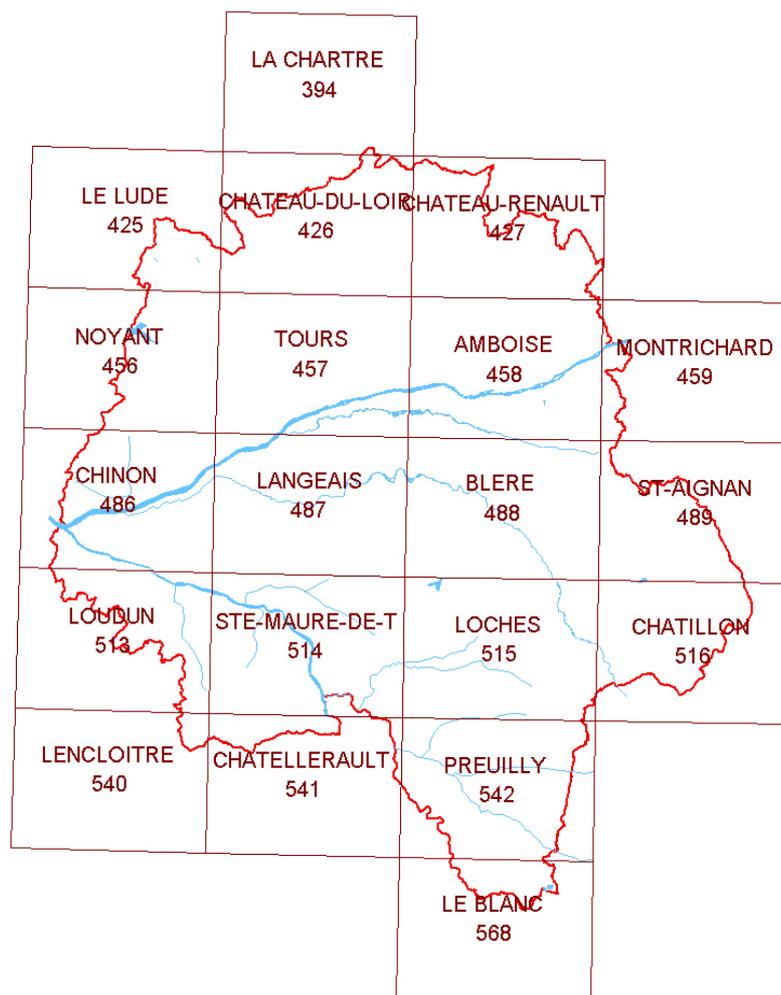


Figure 3 - Coupures des feuilles au 1/50 000 du département de l'Indre-et-Loire.

## 4.2. AQUIFÈRES LIBRES DU DÉPARTEMENT

Le département d'Indre-et-Loire couvre l'extrémité sud-ouest du Bassin parisien, où l'on observe les couches sédimentaires du Tertiaire, centrées à l'est sous la Sologne et qui remontent jusqu'au Jurassique vers le Massif armoricain au nord-ouest, et le Massif central au sud. Ces terrains sédimentaires qui affleurent comprennent plusieurs formations perméables qui sont, des plus récentes aux plus anciennes :

- 1 - les alluvions des grands cours d'eau (Quaternaire),
- 2 - les Faluns de Touraine (Miocène),
- 3 - le Calcaire de Touraine (Oligocène),
- 4 - la craie (Sénonien-Turonien),

- 5 - les Sables du Maine et du Perche (Cénomaniens),
- 6 - les calcaires du Jurassique (Oxfordien).

Captif sous ces formations, nous rencontrons un autre réservoir aquifère : les sables et grès du Trias ; mais ce réservoir n'affleure qu'au sud du département de l'Indre.

#### **4.2.1. Les alluvions**

Le département est traversé par de nombreux cours d'eau : la Loire et ses affluents suffisamment forts qui ont apporté des sédiments détritiques généralement grossiers à la base (sable, gravier) formant un réservoir aquifère. En rive gauche, ce sont le Cher, l'Indre, la Vienne et la Creuse ; en rive droite, c'est le Loir qui coule à l'extrémité nord du département.

Les sédiments grossiers de ces cours d'eau sont souvent recouverts par des limons argileux (le Loir en particulier) qui constituent une couverture relativement protectrice.

Les alluvions offrent une porosité de matrice, souvent répartie irrégulièrement selon la répartition des paléo-chenaux.

Les nappes alluviales sont alimentées bien sûr par les pluies, mais aussi d'une part par les cours d'eau, d'autre part par les aquifères connexes des coteaux et du substratum ; les cours d'eau alimentent ou drainent la nappe alluviale, alternativement, suivant les saisons.

Les nappes alluviales sont très vulnérables et la qualité de l'eau varie beaucoup en fonction de l'alimentation au cours de l'année et des activités de surface. Cette vulnérabilité est aggravée par les gravières, dont plusieurs ont servi de décharge, et par les puits dont beaucoup sont utilisés comme ouvrages absorbants.

#### **4.2.2. Le Calcaire et les Faluns de Touraine**

Ces deux formations du Tertiaire (Calcaire de l'Oligocène et Sable du Miocène) forment un même système aquifère réparti en plusieurs unités correspondant à des plateaux et séparées par les vallées du département. Ces formations ont une épaisseur maximale de 20 à 30 m, mais la tranche mouillée ne dépasse pas, en général, 10 à 15 m d'épaisseur.

Le substratum de ce système est formé par les argiles du Sparnacien ou l'Argile-à-Silex qui recouvre la craie. De nombreuses sources naissent à ce contact.

Ces unités perchées offrent donc une double porosité : d'interstice dans les Faluns ainsi que dans les niveaux sableux du Sidérolithique, et de fissure dans le calcaire.

Ces nappes de Touraine ne sont alimentées que par les pluies efficaces. Le volume de la ressource est faible et les fluctuations piézométriques saisonnières sont fortes.

Très superficielles, non recouvertes par des formations imperméables, ces nappes renferment une eau de qualité médiocre ; la teneur en nitrates, par exemple, dépasse souvent 100 mg/l.

#### **4.2.3. La Craie du Sénonien-Turonien**

La série géologique du Sénonien et du Turonien est formée par une puissante assise de craie dont la partie supérieure est constituée, jusqu'au Turonien moyen, par une craie dure, parfois sableuse, pouvant renfermer de l'eau. Le Sénonien renferme vers sa partie sommitale un banc sableux, au nord et à l'ouest du département ; par rapport aux départements situés à l'est, la craie est donc relativement perméable. La base de la craie, que l'on rencontre sur la bordure extérieure des affleurements, devient marneuse et imperméable (Turonien inférieur). La craie est recouverte par une couche d'argile : argile du Sparnacien ou Argile à silex qui est un produit de décalcification de la craie et qui forme localement une pellicule protectrice imperméable.

La productivité de cet aquifère est liée essentiellement à une porosité de fractures irrégulièrement réparties ou à l'altération de la craie dans les grandes vallées. Sous les plateaux, hors des axes faillés, la perméabilité est presque nulle. Cette formation présente cependant une porosité d'interstice dans les tuffeaux et les bancs sableux.

La nappe est libre au niveau des affleurements crayeux, mais elle est localement captive sous les plateaux du Calcaire de Touraine. L'alimentation s'effectue par les pluies efficaces que n'arrête pas la couverture d'argile. Les vallées drainent cette nappe et de nombreuses sources sont présentes.

Du point de vue qualité de l'eau, la nappe est fortement contaminée par les activités de surface, sur tout le domaine des affleurements, essentiellement par les produits de traitement agricoles. Les teneurs en nitrates n'ont cessé de croître jusqu'à des valeurs dépassant souvent 50 mg/l. L'argile à silex qui recouvre la craie ne remplit donc pas un rôle d'écran protecteur. Mais en domaine captif, sous le Calcaire de Touraine, l'eau est peu ou pas touchée par les pollutions.

L'aquifère de la Craie est le réservoir le plus sollicité dans le département.

Dans le domaine de nappe libre, les puits traditionnels sont très nombreux ; de par leur conception, ils contribuent au transfert des eaux superficielles susceptibles d'être polluées vers la nappe. Ces ouvrages sont le plus souvent abandonnés, mais trop de puits servent encore de puisard. Ce système aquifère est donc vulnérable sur toute l'étendue des affleurements.

#### **4.2.4. Les Sables du Cénomanién**

Le Cénomanién, dans cette extrémité sud-ouest du Bassin parisien, renferme deux horizons sableux qui sont, en partant du haut, le Sable du Perche et le Sable du Maine (ou du Mans), lequel se développe sur une grande épaisseur vers la Sarthe et le Maine-et-Loire. Ces sables affleurent au nord sur des hauts-fonds (Saint-Aubin-le-Dépeint, Sonzay) et sont directement recouverts par les alluvions de la Loire à

l'extrémité ouest (Avoine). Au sud, ils sont connus sous le terme de Sable de Vierzon et ils affleurent en bordure du département. Les sables s'enfoncent vers le centre de la Touraine jusqu'à plus de 200 m de profondeur. Les Sables du Cénomaniens sont recouverts par les Marnes à Ostracées -du Cénomaniens supérieur- et par la craie marneuse du Turonien inférieur, lesquels forment un écran protecteur efficace.

Les sables constituent un réservoir poreux et perméable relativement homogène dont l'épaisseur peut atteindre 50 m au nord et à l'ouest ; au sud-est, les sables sont entrecoupés de lits d'argile et l'épaisseur se réduit à 10-20 m.

La nappe du Cénomaniens est alimentée à partir de ses affleurements au nord et au sud, mais aussi par drainance à partir des calcaires du Jurassique dont la pression hydrostatique est plus élevée. Elle est drainée par la Loire à l'aval de Bourgueil.

La nappe est artésienne hors des affleurements et jaillissait sur la majeure partie de sa surface. Mais sous l'effet d'une exploitation supérieure à l'alimentation, la nappe a baissé régulièrement, principalement dans le secteur de Tours et dans les basses vallées du Cher et de la Vienne.

Dans ce réservoir filtrant, bien protégé par les formations imperméables qui le recouvrent -sauf très localement où le sable affleure- l'eau est de bonne qualité et est exempte de pollution (absence de nitrates). Dans les secteurs non déprimés, l'alimentation par effet de drainance à partir des aquifères inférieurs s'oppose à une contamination de la nappe par les infiltrations d'eau polluée de surface.

#### **4.2.5. Les calcaires du Jurassique**

Ils affleurent en limite sud-ouest du département, dans la région de Richelieu en fond de vallée, mais sont présents directement sous les sables du Cénomaniens dans l'ouest du département, jusqu'à Tours. Ces calcaires sont intrinsèquement compacts, mais renferment de l'eau le long de failles géologiques, le calcaire étant alors fracturé.

L'absence de filtration dans ce type de réservoir et la circulation rapide de l'eau ne permet pas d'obtenir une eau de bonne qualité dans les zones d'affleurement qui demeurent donc très vulnérables.

### **4.3. LES AUTRES AQUIFÈRES DE LA RÉGION CENTRE**

En préparation à l'extension de cette étude aux autres départements de la région et par souci d'homogénéité, nous présentons ci-après d'une façon très succincte les autres aquifères principaux de la région Centre, en adoptant le même principe, en partant des formations les plus récentes.

**Alluvions des grandes vallées** où les cours d'eau ont suffisamment de puissance pour créer des aquifères économiquement intéressants :

- au nord, le Loing (qui n'est autre qu'une paléo-Loire) et l'Eure ;
- au centre, la Loire qui traverse quatre départements (18, 45, 41 et 37) ;

- au sud, les principaux affluents de la Loire : le Cher, l'Indre, la Vienne et la Creuse.

**Formations détritiques du Tertiaire** (datées du Miocène au Pliocène) qui forment parfois de grandes unités géographiques :

- La Sologne et la Forêt d'Orléans, vaste plan d'épandage fluvial issu du Massif central, où les couches et chenaux sableux -aquifères- s'imbriquent dans un ensemble très argileux. La productivité est faible en moyenne ; l'eau est de tendance acide, souvent ferrugineuse. Seuls les bancs sableux superficiels sont vulnérables.
- Le Bourbonnais, unité équivalente dominant la Loire, dans le département du Cher ; la productivité est négligeable, l'aquifère ne satisfaisant que des besoins domestiques. La ressource, très superficielle est très vulnérable.
- La Brenne, unité géographique très fragile, riche en étangs, mais dont les ressources en eau souterraine dans les sables est très faible (âge éocène).

#### • Calcaires de Beauce

C'est le réservoir aquifère le plus considérable de la région. Les calcaires (du Stampien à l'Aquitainien) forment un vaste plateau alimenté par les pluies efficaces, pratiquement sans ruissellement, où les eaux sont drainées sur le pourtour vers l'Eure, la Seine, le Loing, la Loire et le Loir. Ils sont intensément fissurés, voire karstifiés près des exutoires, principalement près de la Loire. Les ressources sont intensément exploitées pour l'agriculture. L'absence d'écoulement en surface a entraîné la contamination générale des aquifères les moins profonds. La nappe de Beauce n'est protégée que sous la forêt d'Orléans où se place la ligne de partage des eaux entre les grands bassins de la Seine et de la Loire.

#### • Unités calcaires du sud

Ces calcaires -datés de l'Éocène supérieur- forment des unités perchées dispersées, principalement dans le Cher (Calcaire du Berry). Ces calcaires fissurés peuvent localement renfermer une ressource exploitable très vulnérable.

#### • Craie du Sénonien-Turonien supérieur

La nappe de la craie se retrouve dans tous les autres départements (28, 36, 41, 45), sauf dans le Cher (18) où elle est captive sous la Sologne. À l'inverse de l'Indre-et-Loire, la craie est un mauvais réservoir, sauf dans les grandes vallées où elle est fortement altérée au droit des cours d'eau (Loing, Indre...) et sur les axes anticlinaux et zones faillées (vallée amont de l'Eure, sud de Dreux...).

#### • Sables du Cénomaniens

Les Sables du Maine se prolongent sur la bordure nord-ouest de la région (Sable du Perche, Sable du Mans) pour disparaître en limite nord du département d'Eure-et-Loir.

Au sud, ils affleurent essentiellement dans le département de l'Indre en un fin liseré, où ils sont connus sous l'appellation de Sable de Vierzon. Ils se développent en profondeur où ils constituent un aquifère de grande importance, comme en Indre-et-Loire, mais ils perdent en puissance et se chargent en argile vers le département du Cher où ce réservoir n'a plus qu'une faible productivité.

#### • Sables du Crétacé inférieur

Ils affleurent également en de fins liserés dans le département du Cher, de la région de Vierzon au Pays-Fort, intercalés dans des formations argileuses.

#### • Calcaires du Jurassique

Ils sont très développés dans le Cher et l'Indre où ils forment la Champagne berrichonne. On distingue quatre ensembles calcaires.

Le **Tithonien** forme la cuesta du Pays-Fort à l'est de Vierzon. Très peu étendus, ils sont plutôt compacts ; les captages y sont rares et révèlent une contamination relativement modérée, en raison de l'extension des bassins versants en domaine majoritairement forestier.

L'**Oxfordien supérieur – Kimméridgien inférieur**, très étendu en affleurement, forme l'essentiel de la Champagne berrichonne. C'est un réservoir très discontinu qui offre ses meilleures possibilités vers le sommet de la série et sur une faible profondeur. Il est très fortement sollicité pour l'alimentation en eau potable et pour l'agriculture. Le calcaire plus ou moins fracturé, à nu, est extrêmement vulnérable ; les captages d'eau potable sont dans la majorité fortement contaminés par les activités de surface et sont condamnés à plus ou moins brève échéance.

Le **Dogger** (ou Jurassique moyen) affleure plus au sud, mais il est souvent recouvert soit par de l'argile de décalcification, soit par les formations détritiques du Tertiaire (Sables du Bourbonnais, Argiles de Lignières, formation d'Ardentes, Brenne) qui protègent relativement efficacement la nappe que les calcaires renferment.

Le **Lias** (ou Jurassique inférieur) comprend à sa base une fine barre calcaire, compacte en général, mais qui fait l'objet de quelques rares captages.

#### • Sables et grès du Trias

Ils affleurent très discrètement contre le « socle » du Massif central dans l'Indre (à l'est de Chaillac) et dans le Cher où la formation devient gréseuse. En surface, c'est un aquifère imperceptible, mais qui se développe considérablement en profondeur où il est fortement sollicité dans la partie orientale de l'Indre ; mais il est alors bien protégé par les terrains sus-jacents et en particulier par les argiles du Lias.

## 4.4. SYSTÈMES AQUIFÈRES

### 4.4.1. Introduction

La carte de la figure 4 présente les systèmes et domaines hydrogéologiques, extraits de la carte numérisée de la France (version V.1 du Référentiel Hydrogéologique de la France). Pour le département, les contours de cette carte et les identifications sont issus du « catalogue des systèmes aquifères » de l'agence de l'Eau Loire-Bretagne (1983). La liste des systèmes aquifères est présentée dans le tableau 1.

### 4.4.2. Codification

Chaque unité hydrauliquement indépendante est identifiée par un code (dit code « Margat », du nom de son concepteur) comportant trois termes :

- trois chiffres désignant les grands ensembles (systèmes ou domaines) basés sur des coupures lithostratigraphiques. On distingue trois catégories d'ensembles :
  - de 001 à 199 (ici : 044 à 057) : grands systèmes aquifères, poreux et perméables.
  - série 300 (ici : 384) : formation alluviale aquifère sur substratum imperméable.
  - série 500 (ici : 577 à 591) : domaines peu ou pas perméables.
- une lettre (a, b...) divisant géographiquement les systèmes ou domaines pré-cités en unités hydrauliquement indépendantes :
  - les lettres u, v, w, x désignent les sous-systèmes alluviaux se superposant à un système aquifère ;
- un chiffre (0, 1...) correspondant à des divisions verticales des sous-systèmes précédents :
  - le chiffre « 0 » indique des unités aquifères perchées, uniquement alimentées par les pluies efficaces, sans être traversées par un cours d'eau.

### 4.4.3. Commentaires de la carte

#### a) *Grands systèmes aquifères*

##### • Craie du Sénonien - Turonien

La quasi totalité des grands systèmes dans le département désigne les formations crayeuses du Sénonien - Turonien (044 à 051). Ces formations sont cependant hétérogènes verticalement. On distingue ainsi, du haut vers le bas :

L'Argile à silex qui recouvre pratiquement la totalité des affleurements de la craie. Elle est localement absente, principalement sur les flancs des coteaux. En outre, elle peut être percée de points d'absorption (dolines, bétoires, puits) ; elle n'assure pas, à grande échelle, la protection de la nappe de la craie. Cette couverture n'est pas individualisée sur la carte.

La craie franche, du Sénonien au Turonien moyen, qui constitue le réservoir principal de type discontinu, la craie n'étant productive que lorsqu'elle est fracturée, fissurée ou altérée. La craie est sableuse à l'ouest du département, ce qui favorise une certaine porosité d'interstices.

Des couches sableuses se rencontrent à la partie supérieure de la craie dans l'ouest du département et dans le Turonien au sud. Ainsi ces sous-systèmes présentent-ils une double porosité (de fracture et d'interstices).

La base de la craie, au Turonien inférieur, devient marneuse, donc non aquifère. Elle constitue le substratum des sous-systèmes. Le découpage existant -reporté ici- ne fait pas paraître cette limite ; ce sera l'objectif de la version V-2 du référentiel hydrogéologique de la France en cours d'élaboration.

#### • Calcaire du Jurassique

Deux extrémités de systèmes apparaissent en limite sud et sud-ouest du département, correspondant au calcaire de l'Oxfordien (Jurassique supérieur) : codes 052 et 057. Ils présentent essentiellement une perméabilité de fracture.

#### • Unités perchées

Au-dessus des sous-systèmes de la craie, des formations géologiques sont réparties en de multiples petites unités. Elles sont « perchées » ; c'est-à-dire qu'elles ne sont pas traversées par des cours d'eau et ne sont alimentées que par les pluies. Elles se distinguent par leur troisième terme « 0 », en gardant le premier terme des grands systèmes qu'elles surmontent.

Ces unités sont très diversifiées, mais correspondent toutes à des formations du Tertiaire reposant sur des surfaces d'érosion des terrains du Secondaire, ici la craie du Sénonien-Turonien.

On distingue des plus récentes aux plus anciennes :

- le Falun de Touraine, dépôt de sable renfermant de petites nappes aquifères ;
- le Calcaire de Touraine, parfois marneux et entrecoupé de bancs de marne, constituant de très médiocres aquifères ;
- les formations détritiques de l'Eocène, parfois désignées sous le terme de Sidérolithique. Elles comprennent de l'argile, des cailloutis ou poudingue, parfois du sable. Globalement, elles constituent le substratum imperméable des dépôts précités, ce qui justifie leur individualisation.

Ces unités présentent soit une porosité d'interstices (Faluns, sable du Sidérolithique), soit une porosité de fracture (Calcaire de Touraine).

## **b) Systèmes alluviaux**

La quasi-totalité des plaines alluviales aquifères se superposent aux grands systèmes de la craie ; elles se distinguent donc par le premier terme des systèmes (044, 046...) suivi des lettres u, v... Dans ce cas, grand système et alluvions ne forment qu'une seule unité hydraulique. On remarque une anomalie sur la carte : l'absence des alluvions dans la vallée de l'Indre, à la traversée des Calcaires de Touraine.

Une seule section se superpose à un « domaine » imperméable : la vallée de la Creuse, d'où la désignation par le code 384. Les alluvions reçoivent alors le ruissellement issu des coteaux.

## **c) Grands Domaines**

Ce sont les terrains faiblement perméables ou formés d'une alternance -non discernable sur la carte au 1/1 000 000- de terrains perméables et imperméables. Dans le département d'Indre-et-Loire, il s'agit des formations du Cénomaniens qui entre dans la deuxième catégorie.

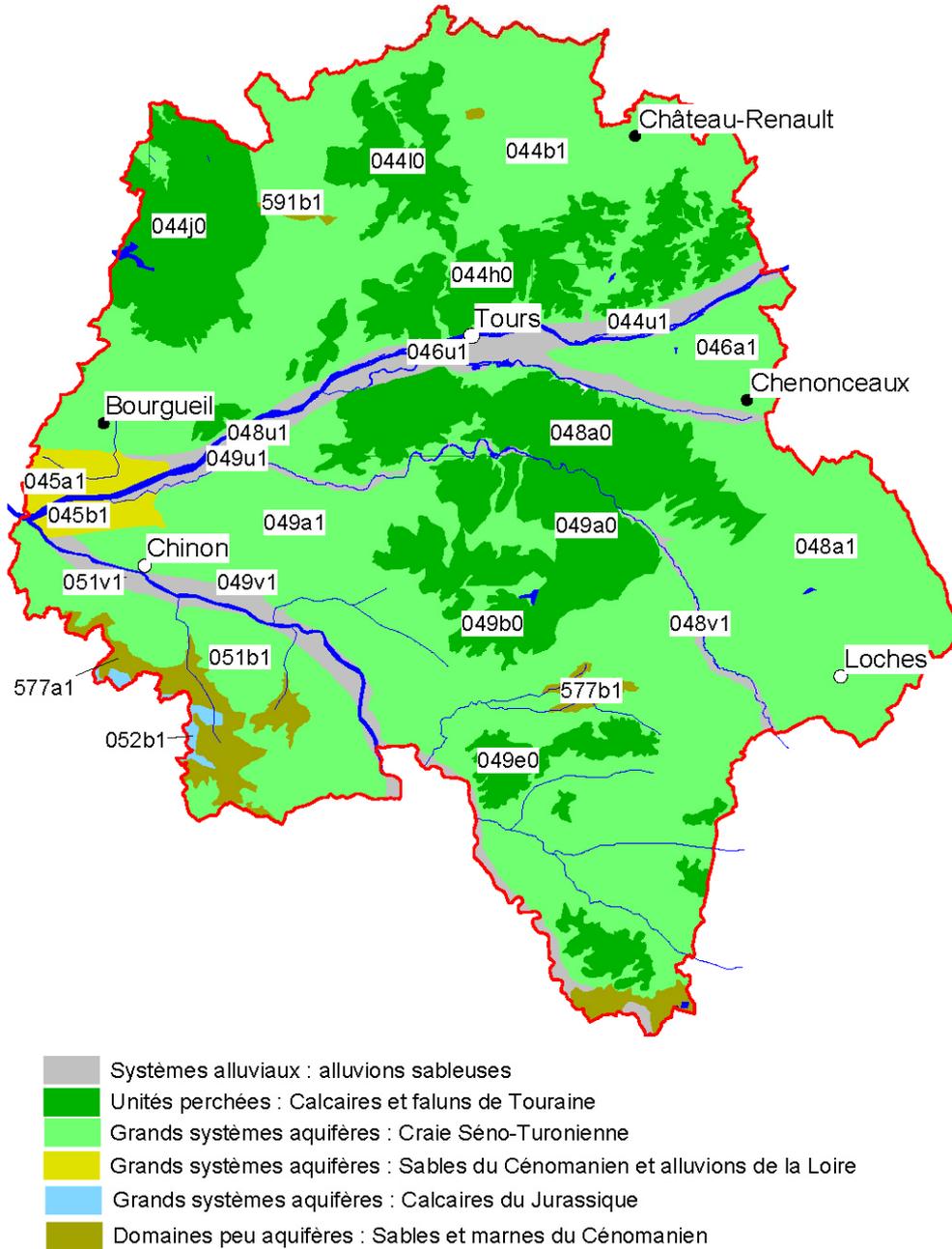
Au-dessous de la craie marneuse du Turonien, on traverse un ensemble argilo-sableux dont la répartition verticale est la suivante, du haut vers le bas :

- les Marnes à Ostracées qui forment un écran protecteur aux sables sous-jacents. Elles sont localement absentes au nord ;
- les Sables du Maine ou du Mans, très développés aux extrémités ouest et nord-ouest où ils affleurent. Ils forment avec les alluvions de la Loire, près d'Avoine, un système individualisé sous le code 045, mais qui est lié hydrauliquement aux systèmes connexes crayeux 044 au nord et 046 au sud. Cette épaisse assise sableuse se divise vers l'est en trois bancs bien distincts lithologiquement :
  - le Sable du Perche, identifié dans la partie nord du département et qui n'est que la partie supérieure de l'épaisse série sableuse affleurant dans la Sarthe (Sable du Mans),
  - la Craie de Théligny, à l'extrémité nord du département, équivalent latéral des Sables du Mans,
  - le Sable de Vierzon, identifié au sud du département, qui est l'équivalent très réduit en épaisseur des Sables du Maine et qui se charge graduellement d'argile vers l'est et nord-est.

Toutes ces formations, alternativement poreuses et imperméables, ne sont pas individualisées sur la carte numérisée, d'où le classement en « domaine ». Il est certain que l'objectif du référentiel V-2 sera de différencier les couches aquifères de celles imperméables.

Les affleurements qui paraissent sur la carte se rapportent soit aux marnes supérieures, imperméables, soit aux couches sableuses, aquifères. La vulnérabilité du Cénomaniens sera donc très différente suivant la lithologie du terrain affleurant. Il faudra

alors avoir recours à la carte géologique ou même à des sondages pour juger avec précision la vulnérabilité de l'aquifère.



*Figure 4 - Systèmes aquifères et domaines en Indre-et-Loire.  
Extrait de la carte de France au 1/1 000 000 (Version V.1 199).*

Code	Libellé	Code	Libellé	Lithologie	Classe de perméabilité
44	GATINE	044a0	Helvétien continental, région de Santenay	Cailloutis, sable	A3
44	GATINE	044a1	Craie du Turonien - Sénonien à l'Est de la Brenne	Craie, tuffeau	C1
44	GATINE OCCIDENTALE	044b0	Éocène détritique, buttes de Vernoi	Conglomérat, argile	A3
44	GATINE	044b1	Craie du Turonien - Sénonien à l'Ouest de la Brenne	Sable, tuffeau	C1
44	GATINE	044e0	Éocène perché, région nord de Limerau	Cailloutis, sable	A3
44	GATINE	044g0	Poudingue éocène et Calcaire de Touraine, région de Nazelles	Cailloutis, calcaire	A3
44	GATINE	044h0	Éocène détritique, Calcaire de Touraine, région de Monnaie	Cailloutis, argile, calcaire	C3
44	GATINE	044i0	Éocène détritique, Calcaire de Touraine, région de la Membrolle	Cailloutis, argile, calcaire	C3
44	GATINE	044j0	Calcaires de Touraine et Faluns de Touraine, secteur de Noyant	Calcaire, sable	B2
44	GATINE	044k0	Éocène détritique, Calcaire de Touraine, nord Saint-Mars	Cailloutis, argile, calcaire	C3
44	GATINE	044l0	Éocène détritique, Calcaire de Touraine, secteur de Neuillé-Pont-Pierre	Cailloutis, argile, calcaire	C3
44	GATINE OCCIDENTALE	044m0	Éocène détritique, Calcaire d'Anjou, butte de Saint-Michel-sur-Loire	Cailloutis, argile, calcaire	C3
44	GATINE	044u1	Alluvions de la Loire, rive droite, entre Cisse et Brenne	Sable, argile	A1
44	GATINE	044v1	Alluvions de la Loire, rive droite, aval Vouvray	Sable, argile	A1
45	VAL D'ANJOU	045a1	Alluvions de la Loire rive droite et Sables Cénomaniens	Sable	A1
45	VAL D'ANJOU	045b1	Alluvions de la Loire rive gauche et Sables Cénomaniens	Sable	A1
46	VARENNE	046a1	Craie du Turonien - Sénonien	Craie	C1
46	VARENNE	046u1	Alluvions du Cher, rive droite	Sable, argile	A1
46	VARENNE	046v1	Alluvions de la Loire, rive gauche	Sable, argile	A1
48	TOURAINNE CENTRE	048a0	Calcaires de Touraine sur Éocène détritique	Sable, argile	C3
48	TOURAINNE CENTRE	048a1	Aquifère principal : craie du Turonien-Sénonien	Calcaire, argile, poudingue	C3
48	TOURAINNE CENTRE	048u1	Alluvions rive gauche du Cher et de la Loire entre Cher et Indre	Craie, tuffeau	C1
48	TOURAINNE CENTRE	048v1	Alluvions de l'Indre rive droite	Sable	A1
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049a0	Calcaires de Touraine sur Éocène détritique	Calcaire, argile, poudingue	C3
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049a1	Aquifère principal : craie du Turonien-Sénonien	Craie, tuffeau	C1
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049b0	Tertiaire continental, Faluns	Sable, gravier	A1
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049c0	Calcaires de Touraine sur Éocène détritique. Unité perchée de Montbazou	Calcaire, argile, poudingue	C3
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049d0	Calcaires de Touraine sur Éocène détritique. Unité perchée sud de Veigne	Calcaire, argile, poudingue	C3
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049e0	Calcaires de Touraine. Junité perchée sud de Liqueil	Calcaire, marne	C3
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049f0	Calcaires de Touraine sur Éocène détritique. Unité perchée nord Gd-Pressigny	Calcaire, marne, argile	C3
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049g0	Calcaires lacustres. Unité perchée entre Yzeure et Preully	Calcaire, marne	C3
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049h0	Tertiaire continental. Unité perchée d'Azay-le-Ferron	Sable	A3
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049i0	Tertiaire continental. Unité perchée sud de Saint-Flovier	Sable	A3
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049v1	Alluvions rive gauche Indre aval et Loire entre confluence Indre et Huismes	Sable	A1
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049w1	Alluvions rive droite de la Vienne aval	Sable	A1
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049w1	Alluvions rive gauche de l'Indre en amont d'Arfammes	Sable	A1
49	VERON - PLATEAU DE SAINTE MAURE	049x1	Alluvions rive droite de la Creuse	Sable	A1
51	COTES DE LOIRE	051b1	Aquifère principal au sud de la Vienne : craie du Turonien	Tuffeau, sable	B2
51	COTES DE LOIRE	051v1	Alluvions rive gauche de la Vienne	Sable	A1
52	LOUDUNOIS	052b1	Aquifère du Jurassique supérieur, région de Loudun et Richeuilieu	Calcaire sur marne	C1
57	BRENNE	057a1	Aquifère du Jurassique supérieur, à l'Est de la Creuse	Calcaire	C1
384	CREUSE	384b1	Alluvions de la Creuse sur le domaine 580	Sable	A1
577	LOUDUN / UNITE DE LIGUEIL	577a1	Cénomaniens argileux	Marne, sable argileux	A4
577	LOUDUN / UNITE DE LIGUEIL	577b1	Cénomaniens, Fenêtre de Liqueil	Marne, grès, sable	A3
580	TOURAINNE SUD	580a1	Cénomaniens glauconieux à l'Est de la Creuse	Craie marneuse, sable, calc.	A3
580	TOURAINNE SUD	580b1	Cénomaniens glauconieux entre la Garterpe et la Creuse	Craie marneuse, sable, calc.	A3
591	ANJOU NORD	591b1	Marnes à Ostracées, Cénomaniens, région de Sonzay	Marne	A4

Tableau 1 - Systèmes aquifères et domaines en Indre-et-Loire codification (v. 1).

## 4.5. CLASSES DE PERMÉABILITÉ

### 4.5.1. Méthodologie

Un indice de perméabilité a été affecté à chaque sous-système. Celui-ci figure en colonne 6 sur le tableau n° 1. La figure 5 présente la carte des systèmes et domaines regroupés par type de perméabilité.

On distingue quatre classes de perméabilité décroissante qui sont : très perméables (1), perméables (2), peu perméables (3) et imperméables (4). On a introduit dans la classification des perméabilités le type de perméabilité afin de tenir compte des zones où la perméabilité de la roche provient de fissures. On distingue ainsi le domaine continu (A) (perméabilité des roches détritiques d'interstice) et le domaine discontinu (C) (perméabilité due à des fissures). On a introduit également le milieu intermédiaire (B) où le domaine est mixte (milieu continu et fissuré). Cette différenciation est indispensable pour juger de la vulnérabilité d'un aquifère, sachant que l'eau est filtrée et la circulation lente dans les sables, alors qu'il n'y a pas de filtration et la circulation de l'eau est rapide dans les fissures du calcaire.

#### a) Valeur des perméabilités

L'échelle des perméabilités s'étend approximativement des valeurs inférieures à  $10^{-8}$  m/s, pour les terrains imperméables (4), aux valeurs supérieures à  $10^{-2}$  m/s, pour les terrains très perméables. Les deux autres classes correspondent au secteur  $10^{-8}$  à  $10^{-4}$  pour les terrains peu perméables (3), et au secteur  $10^{-4}$  à  $10^{-2}$  pour les terrains perméables (2).

Le type de perméabilité introduit des nuances dans l'échelle de perméabilité qui sont présentées dans le tableau 2. On différencie ainsi sur le principe douze classes de perméabilité entre les terrains imperméables et les terrains très perméables discontinus.

Perméabilité	Nature du milieu										
	Continu (A)	Mixte (B)	Discontinu (C)								
Très perméable (1)	A1	B1	C1								
Perméable (2)	A2	B2	C2								
Peu perméable (3)	A3	B3	C3								
Imperméable (4)	A4	B4	C4								
Classification par ordre de perméabilité croissante (vulnérabilité croissante) et valeur des perméabilités											
$10^{-8}$	$10^{-7}$ à $10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$ à $10^{-2}$	$> 10^{-2}$							
A4	B4	C4	A3	B3	C3	A2	B2	C2	A1	B1	C1

Tableau 2 - Échelle des perméabilités.

On ne trouvera dans le département de l'Indre-et-Loire que les aquifères correspondant aux classes A4, A3, C3, B2, A1 et C1.

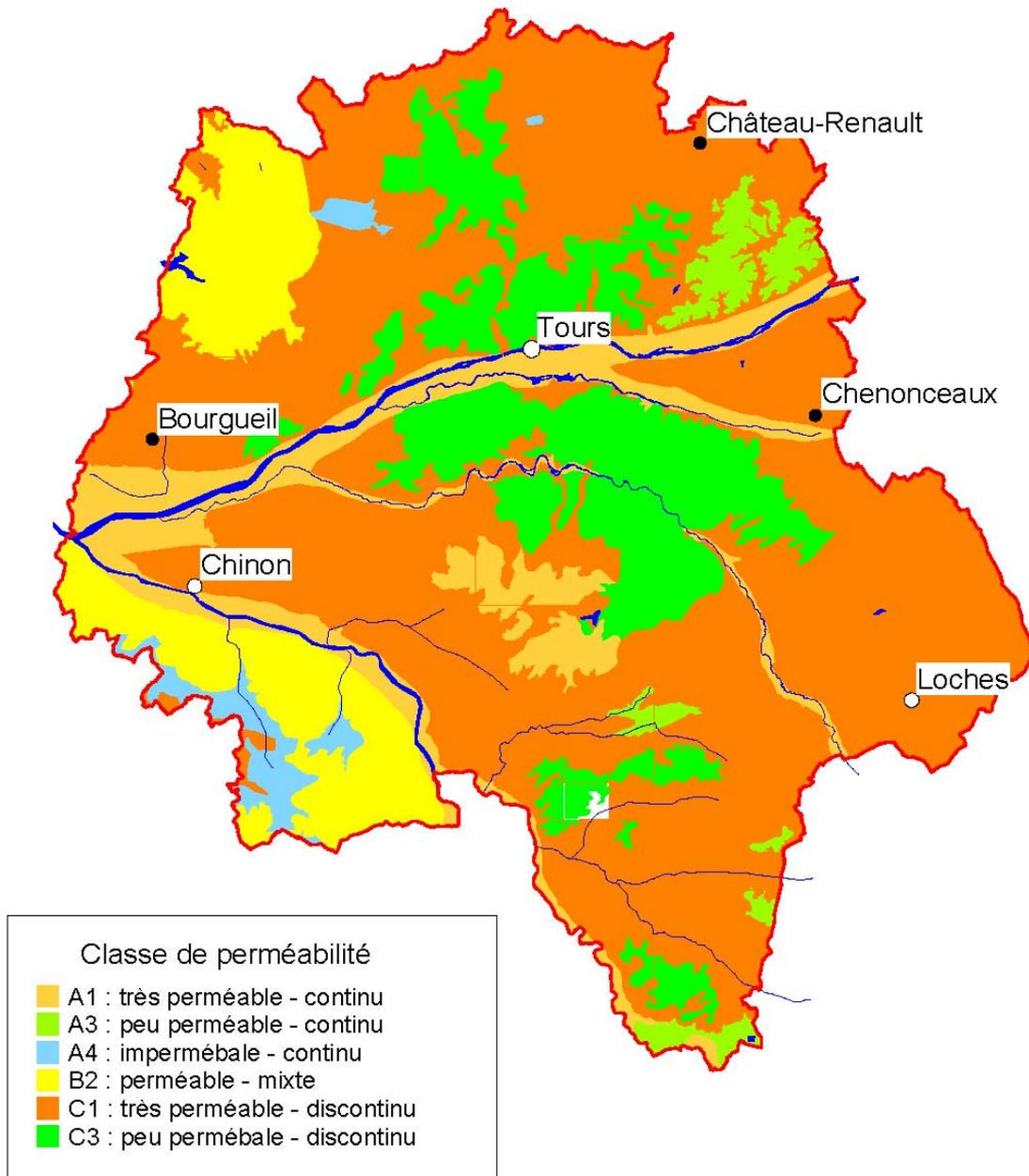


Figure 5 - Carte des types de perméabilité des aquifères superficiels.

<b>Milieu continu A</b>
<p><b>Très perméable : A1</b>  Alluvions des grandes vallées (Quaternaire)  Faluns de Touraine (Mio-Pliocène)  Sables du Mans, du Maine (Cénomaniens)</p> <p><b>Peu perméable : A3</b>  Sables du Sidérolithique (Éocène)  Sables et marne (Cénomaniens)</p> <p><b>Imperméable : A4</b>  Argile à silex (post-Crétacé)  Marne à Ostracées (Cénomaniens)</p>
<b>Milieu mixte B</b>
<p><b>Perméable : B2</b>  Calcaire de Touraine + Faluns (Oligo-Miocène)  Craie sableuse (Turonien)</p>
<b>Milieu discontinu C</b>
<p><b>Très perméable : C1</b> (<i>Fissuré, karstique</i>)  Craie (Turonien moyen à Sénonien)  Calcaire jurassique</p> <p><b>Peu perméable : C3</b> (<i>Peu fissuré, argileux</i>)  Calcaire de Touraine (Oligocène)</p>

Tableau 3 - Tableau explicatif des classes de perméabilité en Indre-et-Loire.

#### 4.5.2. Les différents domaines de perméabilité rencontrés dans le département de l'Indre-et-Loire.

##### **A1 - continu - très perméable**

Dans les formations poreuses et à bonne perméabilité, où la ressource est suffisante pour les utilisations les plus diverses (AEP, industrie...), on trouvera :

- les alluvions des grandes vallées ;
- les faluns du sous-système 049b0, en raison de leur relative importance économique locale (AEP anciens, fermes), plutôt que pour les débits d'exploitation. Ce critère est toutefois un peu subjectif et cette formation pourrait éventuellement être classée en A3.

### **A3 - continu - peu perméable**

Ces formations poreuses, peu perméables comprennent :

- les sous-systèmes perchés du Tertiaire (Sidérolithique, placages de faluns) où la ressource est peu abondante et n'autorise que de faibles prélèvements ;
- les affleurements argilo-sableux du Cénomaniens au sud du département (577b1, 580a1 et b1).

### **A4 - continu - imperméable**

On trouvera le domaine du Cénomaniens où seules affleurent les marnes supérieures, imperméables (577a1 et 591b1). Ce domaine reste classé en « A », du fait que l'aquifère sous-jacent est sableux.

### **C1 - discontinu - très perméable**

Dans les formations carbonatées plus ou moins fracturées, on trouvera :

- la Craie du Sénonien-Turonien (systèmes 044a1, 044b1, 046a1, 048a1 et 049a1) ;
- le Calcaire du Jurassique (systèmes 052 et 057).

### **C3 - discontinu - peu perméable**

Cette classe correspond aux aquifères perchés des Calcaires de Touraine lorsqu'ils ne sont pas recouverts par les Faluns.

### **B2 - mixte - perméable**

On y trouve deux sous-systèmes :

- 044j0 : Calcaires de Touraine surmontés des Faluns, dans le secteur de Noyant ;
- 051b1 : Craie marneuse du Turonien comportant des bancs sableux à sa partie supérieure, au sud de la Vienne.

## **4.6. RECOUVREMENTS IMPERMÉABLES**

### **4.6.1. Méthodologie**

Plusieurs systèmes aquifères décrits ci avant possèdent un recouvrement argileux ou marneux qui atténue leur vulnérabilité, mais qui ne paraît pas sur les documents numérisés des systèmes aquifères. On a donc recherché d'autres documents spécifiques aux formations « imperméables ».

On dispose pour cela de la carte élaborée dans l'étude de la recherche des sites de stockage des déchets ultimes (issue du rapport de 1994 n° R 38233) (voir fig. 6).

#### 4.6.2. Carte pour les sites de stockage de déchets ultimes

La carte est basée sur des critères sévères :

- une faible perméabilité, inférieure à  $1 \times 10^{-9}$  m/s ;
- une épaisseur supérieure à 5 m, indiquée sur les coupes géologiques archivées au BRGM.

Le résultat montre donc des surfaces réduites.

La représentativité de cette carte a cependant des limites :

- les mesures de perméabilité sont extrêmement rares. Elles ne sont de plus pas recensées. « L'imperméabilité » a donc été le plus souvent estimée ;
- l'épaisseur des argiles superficielles est connue par les coupes des forages archivées à la banque du sous-sol du BRGM. Or plusieurs secteurs ne présentent aucune coupe. Ici aussi, des extrapolations ont été faites par les géologues, au vu des cartes géologiques.

Les relations avec la carte des systèmes aquifères précédente n'est pas évidente. Nous remarquons :

- les **alluvions** ne sont pas considérés ici. Leur absence s'explique par :
  - la couverture d'épaisseur généralement inférieure à 5 m,
  - l'impossibilité de connaître à une petite échelle la position des chenaux sableux et des banquettes argileuses plus épaisses ;
- les **Faluns et Calcaires de Touraine** paraissent exempts de couverture argileuse, à de rares exceptions près. Ces exceptions coïncident avec quelques bordures des sous-systèmes (exemple : 044j0) où affleurent les argiles éocènes, mais c'est loin d'être général, ces argiles devant faire moins de 5 m d'épaisseur ;
- **Craie du Sénonien – Turonien** : la couverture imperméable (Argile-à-silex, argiles éocènes) qui couvre la craie n'est pas générale :
  - d'une part ce revêtement imperméable est absent sur le flanc des vallées où la craie est à nu, ainsi qu'à l'extrémité occidentale du département où le sommet de la craie est sableux,
  - d'autre part le seuil d'épaisseur doit exclure les faibles recouvrements ;
- Le **Cénomanién** est difficile à interpréter :
  - si l'on prend par exemple l'affleurement de Sonzay, au nord de la Loire, où le centre est occupé par les Sables du Perche -perméables- et le pourtour par les Marnes à Ostracées -imperméables, la carte ne montre pas de différence et n'indique pas de revêtement imperméable. Cette simplification se comprend pour l'affleurement du sud-ouest (sous-systèmes 477a1) où marne et sable ne sont pas différenciés sur la carte géologique,
  - par contre, à l'extrémité occidentale du département, à la périphérie des alluvions de la Loire et des Sables du Maine, les Marnes à Ostracées sont bien marquées comme couverture imperméable ;

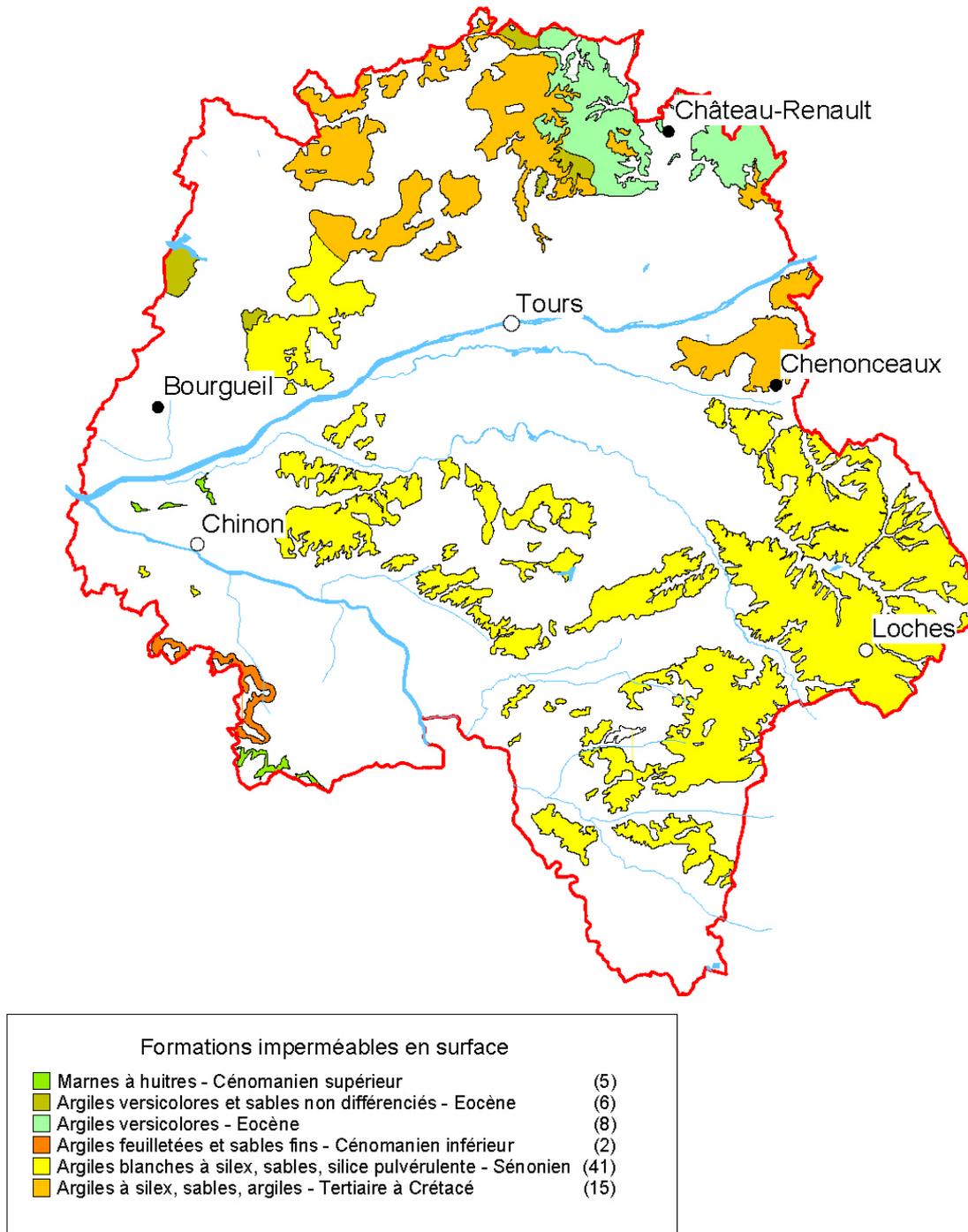


Figure 6 - Cartographie des formations argileuses superficielles en Indre-et-Loire (extrait du rapport BRGM n° R 38233).

## **5. Pluie efficace sur le département de l'Indre-et-Loire**

La pluie efficace a été calculée par le ministère de l'Écologie et du Développement Durable pour l'ensemble de la France, à partir des données de Météo France. Les données disponibles correspondent à une moyenne faite sur la période 1946-2001, en retenant une valeur moyenne par commune. On présente sur la figure 7 le résultat des pluies efficaces pour l'ensemble de la France.

La pluie efficace calculée par le MEDD correspond à la partie non évaporée de la pluie. Celle-ci va soit ruisseler sur le sol, soit s'infiltrer dans les nappes.

On retiendra pour le calcul de la vulnérabilité des aquifères ces données du MEDD.

Carte de la pluie efficace en France  
Moyenne 1946-2001  
(d'après MEDD)

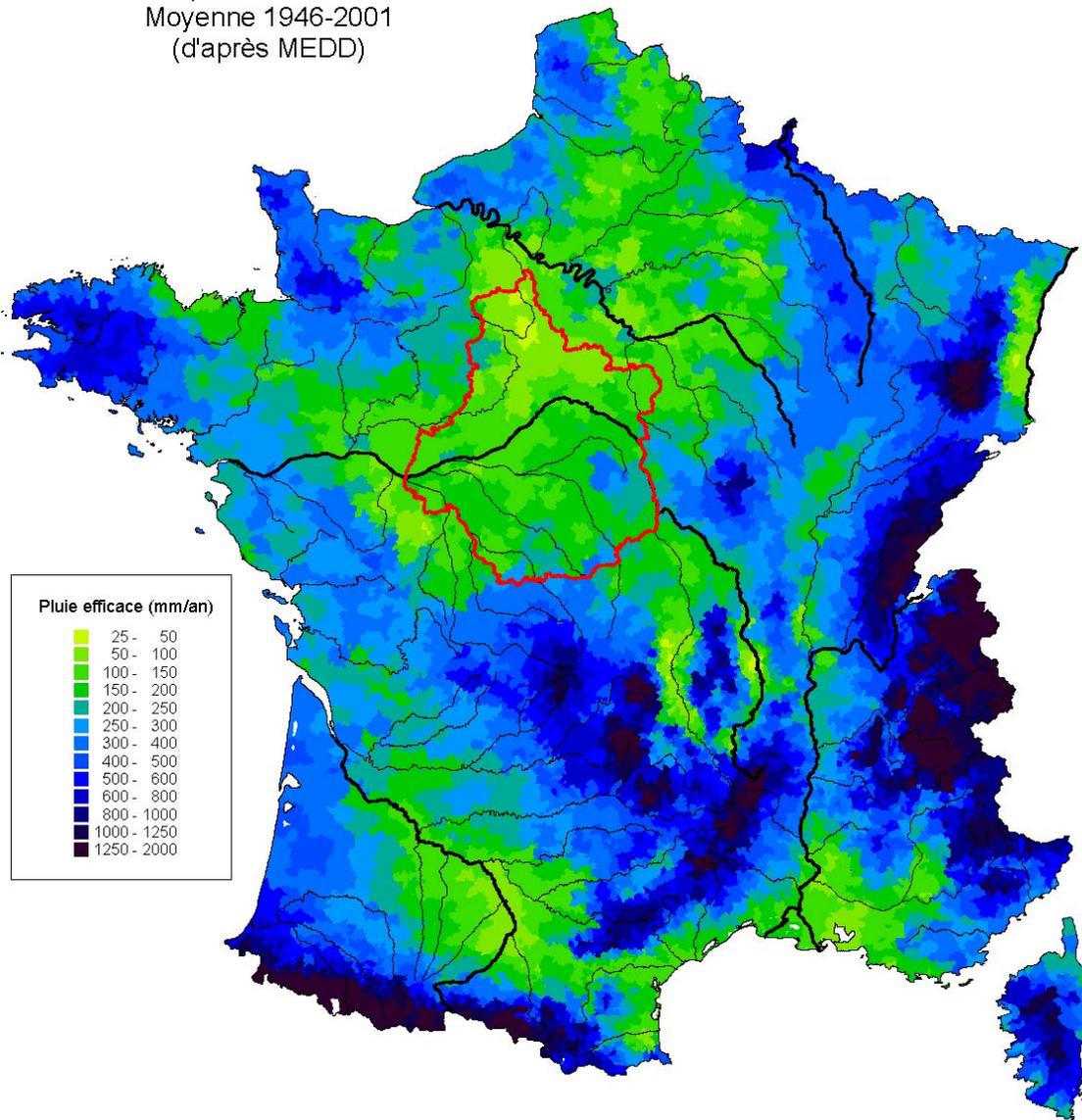


Figure 7 - Carte de France des précipitations efficaces moyennes sur la période 1946-2001 (d'après MEDD).

## 6. L'altitude du sol et les pentes du terrain

L'altitude du sol est connue à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 50 m (fig. 8). À partir de ces données, il a été calculé une grille intermédiaire moyenne au pas de 250 m. Les pentes du sol ont été calculées à partir de cette grille.

Les données altitude du sol et pente ont ensuite été moyennées par maille de 500 m de côté. Ce sont ces données qui ont servi dans le calcul de la vulnérabilité des aquifères : pente du sol (variable V2) et profondeur des nappes (variable V5).

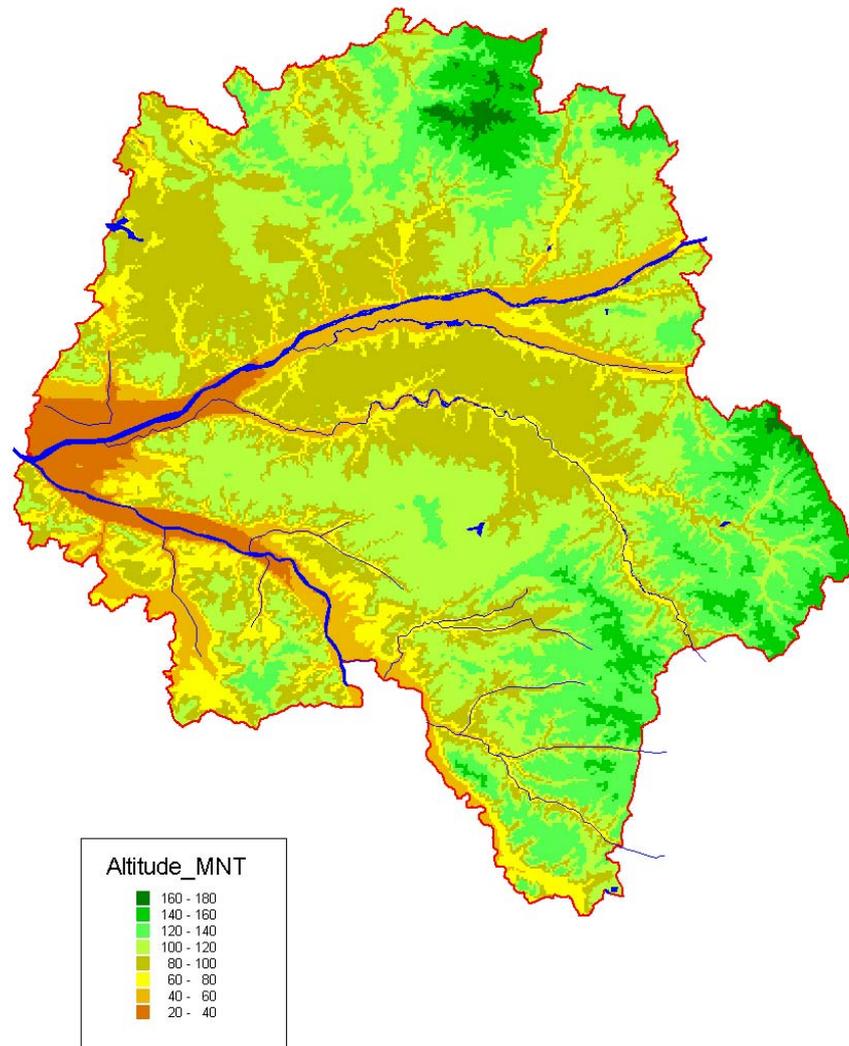


Figure 8 - Carte des altitudes du sol (MNT).



## **7. Recherche de la profondeur et suivi des niveaux des nappes**

Cette étape consiste à rechercher d'une part dans les documents de synthèses les cartes piézométriques existantes, d'autre part dans la BSS du BRGM les profondeurs mesurées des différentes nappes à surface libre afin d'estimer la profondeur moyenne de celles-ci. Il sera ainsi possible d'évaluer l'épaisseur moyenne de la zone non-saturée, qui est un facteur important dans l'élaboration de la carte de vulnérabilité.

Les points d'eau du département :

- 6 176 points d'eau recensés à la BSS du BRGM ;
- 1 509 points d'eau avec une mesure de la profondeur de la nappe.

Ces points sont présentés sur les figures 9 et 10.

On présente sur la figure 11 la profondeur des forages et la profondeur de la nappe pour les 1 500 ouvrages pour lesquels on possède une mesure de niveau. Tous aquifères confondus, pour 1 500 valeurs de niveau, la profondeur de la nappe est de moins de 5 m pour 600 points, de moins de 10 m pour 800 points, et de moins de 20 m pour 1 150 points.

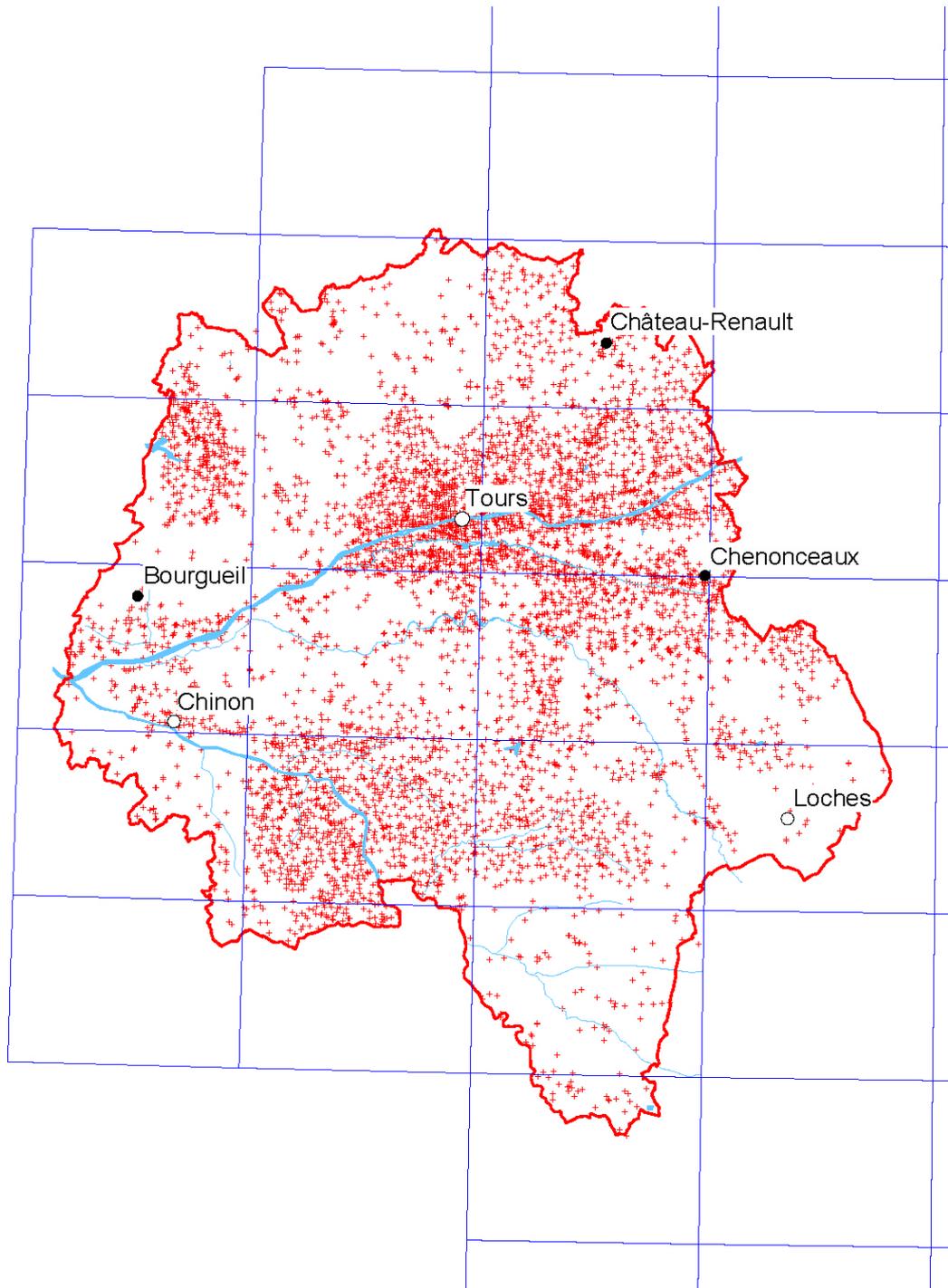


Figure 9 - Points d'eau BSS – BRGM.

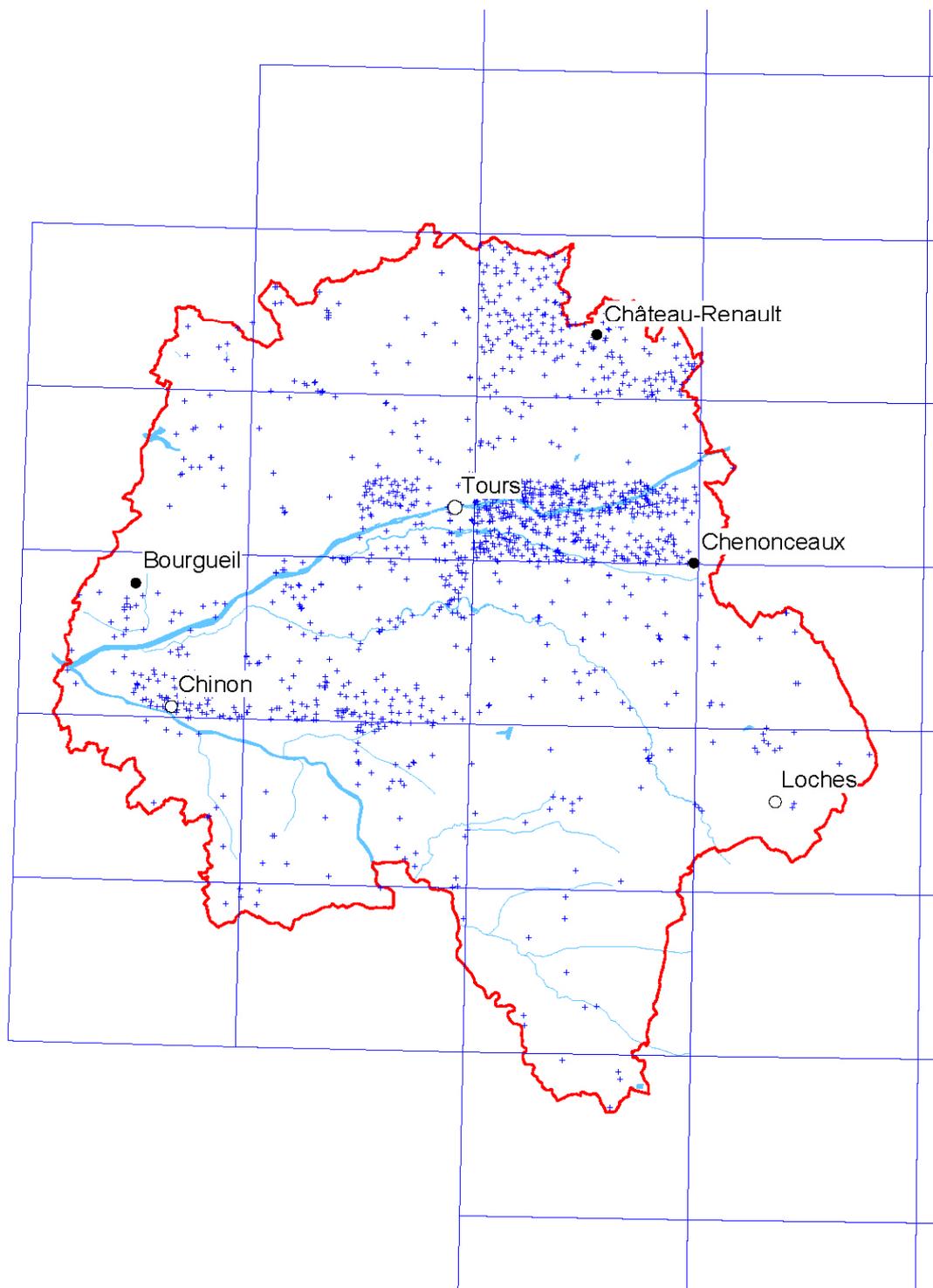


Figure 10 - Points d'eau BSS - BRGM avec mesure piézométrique.

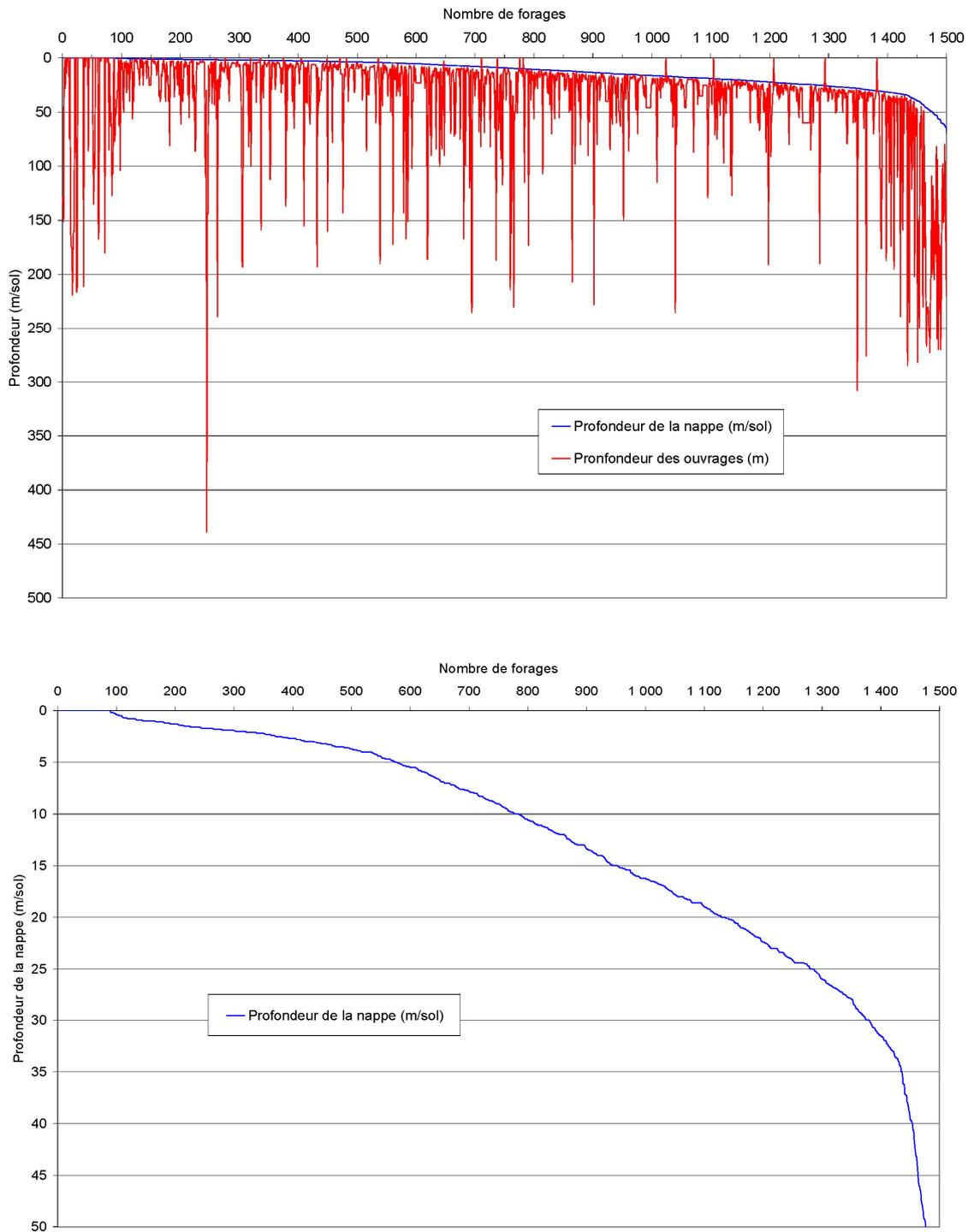


Figure 11 - La profondeur des forages et des niveau des nappes.

## **8. Création d'une grille de calcul et élaboration des critères entrant en jeu dans le calcul de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères**

### **8.1. CRÉATION D'UNE GRILLE DE CALCUL**

Les calculs de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères seront faits à partir d'une grille de 500 m de côté.

Pour couvrir l'ensemble de la région Centre, on a généré une grille de 158 121 mailles de 0,250 km<sup>2</sup> (carrés de 500 m de côté). Chaque maille de la grille contiendra les informations nécessaires au calcul de la vulnérabilité intrinsèques des aquifères.

La grille de calcul est décrite en annexe 2.

Pour le département de l'Indre-et-Loire, la grille comprend 24 609 mailles pour couvrir la superficie du département qui est égal à 6 152 km<sup>2</sup>.

### **8.2. DESCRIPTION DES VARIABLES ET DES VALEURS AFFECTÉES AUX VARIABLES**

#### **8.2.1. Description des champs nécessaires au calcul de la vulnérabilité des nappes**

À partir des éléments rassemblés, on identifiera une échelle de vulnérabilité basée sur cinq classes pour l'ensemble du département de l'Indre-et-Loire. Cette échelle sera déduite d'une combinaison des différents paramètres hydrogéologiques qui interviennent dans la définition de la vulnérabilité des aquifères. Le choix de chaque critère sera explicité de telle sorte qu'il sera toujours possible de connaître la ou les raisons de l'attribution de la note (vulnérable ou non vulnérable) d'une zone.

#### **8.2.2. Pluie efficace (Variable V1)**

On définit cinq classes (en vulnérabilité croissante) :

- classe 1 : moins de 100 mm/an (valeur 1) ;
- classe 2 : de 100 à 150 mm/an (valeur 2) ;
- classe 3 : de 150 à 200 mm/an (valeur 3) ;
- classe 4 : de 200 à 250 mm/an (valeur 4) ;
- classe 5 : plus de 250 mm/an (valeur 5).

La figure 12 montre la distribution des pluies efficaces (maillage de 500 m de côté).

Les valeurs de la pluie efficace sont comprises entre 99 et 223 mm/an, avec une moyenne égale à 151 mm/an.

Les notes servant au calcul de la vulnérabilité des aquifères et correspondant au découpage de la pluie efficace en cinq classes sont comprises entre 1 et 4, avec une moyenne égale à 2,5.

### **8.2.3. Pente du sol (Variable V2)**

On définit six classes (en vulnérabilité croissante) :

- classe 1 : plus de 6 degrés (valeur 1) ;
- classe 2 : de 4 à 6 degrés (valeur 2) ;
- classe 3 : de 2 à 4 degrés (valeur 3) ;
- classe 4 : de 1 à 2 degrés (valeur 4) ;
- classe 5 : de 0,5 à 1 degré (valeur 5) ;
- classe 6 : moins de 0,5 degré (valeur 6).

La figure 13 montre la distribution des pentes du sol (maillage de 500 m de côté).

Les valeurs des pentes sont comprises entre 0 et 5,3 degrés, avec une moyenne égale à 0,9 degré.

Les notes servant au calcul de la vulnérabilité des aquifères et correspondant au découpage des pentes en six classes sont comprises entre 2 et 6, avec une moyenne égale à 4,9.

### **8.2.4. Couverture imperméable (Variable V3)**

On définit deux types de classe (en vulnérabilité croissante) :

- classe 1 : avec couverture imperméable (valeur 1) ;
- classe 2 : sans couverture imperméable (valeur 0).

La figure 14 montre la distribution des formations de couverture imperméables.

Les formations imperméables couvrent 26,5 % du territoire du département. Le coefficient qui sera appliqué à cette variable sera négatif pour tenir compte du fait que la présence d'une formation imperméable rend les terrains moins vulnérables.

### **8.2.5. Classe de perméabilité des aquifères (Variable V4)**

On définit dans le tableau 4 douze classes de perméabilité, dont les valeurs associées à la vulnérabilité de l'aquifère vont de 1 à 12, et qui correspondent aux classes définies au chapitre 4.

Classe de perméabilité K	Note de vulnérabilité
A4	1
B4	2
C4	3
A3	4
B3	5
C3	6
A2	7
B2	8
C2	9
A1	10
B1	11
C1	12

Tableau 4 - Les différentes classes de perméabilité.

La figure 15 montre la distribution des perméabilités des aquifères.

Les notes servant au calcul de la vulnérabilité des aquifères et correspondant au découpage des perméabilités en douze classes sont comprises entre 1 et 12, avec une moyenne égale à 8,8 qui correspond à un aquifère perméable - mixte.

### 8.2.6. Épaisseur de la zone non saturée (Variable V5)

On définit six classes (en vulnérabilité croissante) :

- classe 1 : plus de 30 m (valeur 1) ;
- classe 2 : de 20 à 30 m (valeur 2) ;
- classe 3 : de 10 à 20 m (valeur 3) ;
- classe 4 : de 5 à 10 m (valeur 4) ;
- classe 5 : de 2,5 à 5 m (valeur 6) ;
- classe 6 : moins de 2,5 m (valeur 10).

La figure 16 montre la distribution des profondeurs des nappes.

Les valeurs de ces profondeurs sont comprises entre 0 et 85,5 m, avec une moyenne égale à 22 m.

Les notes servant au calcul de la vulnérabilité des aquifères et correspondant au découpage des profondeurs en six classes sont comprises entre 1 et 10, avec une moyenne égale à 3,5.

Le choix des classes de profondeur est volontairement non linéaire, afin de donner un poids plus fort aux faibles profondeurs.

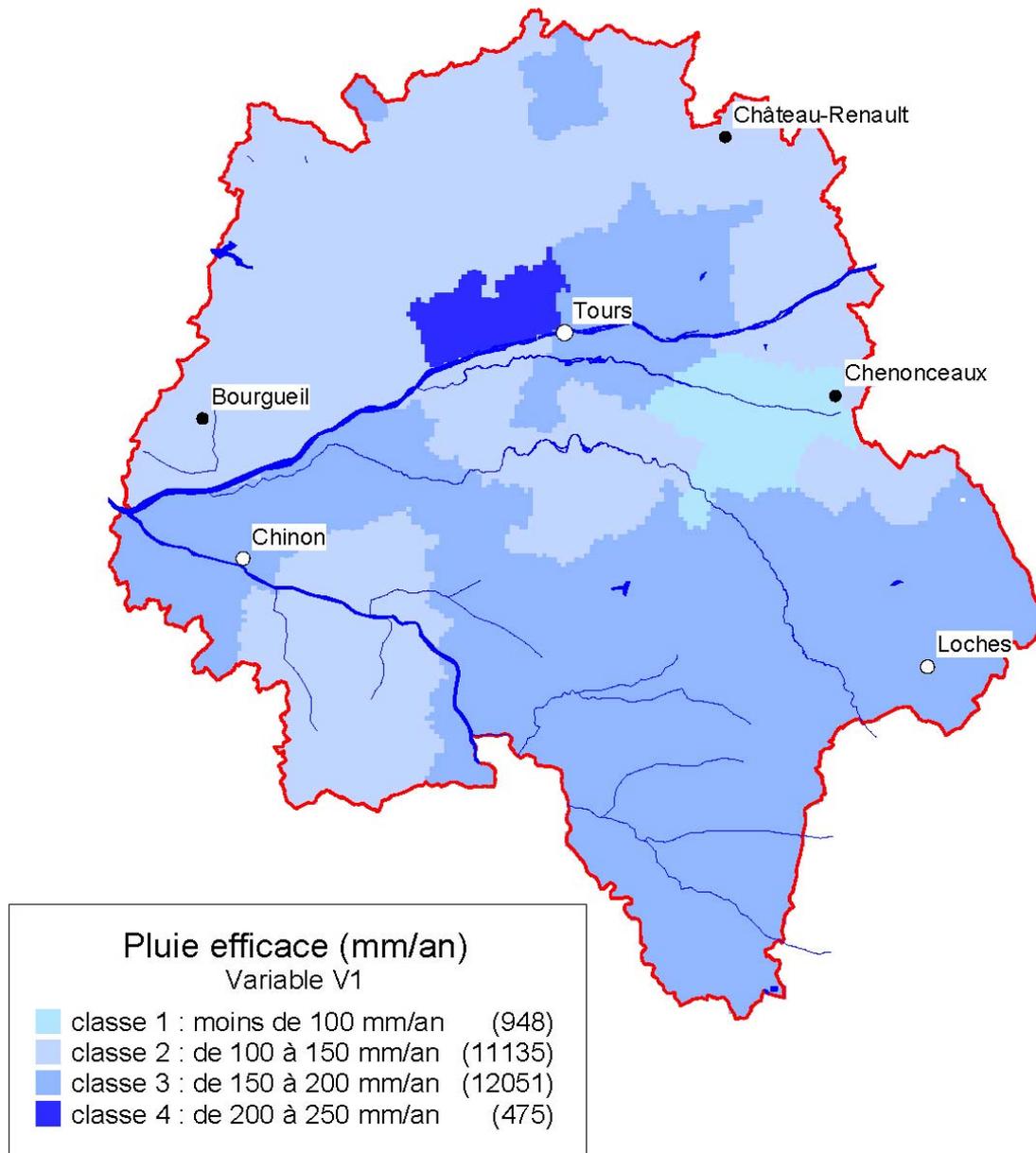


Figure 12 - Carte des pluies efficaces.

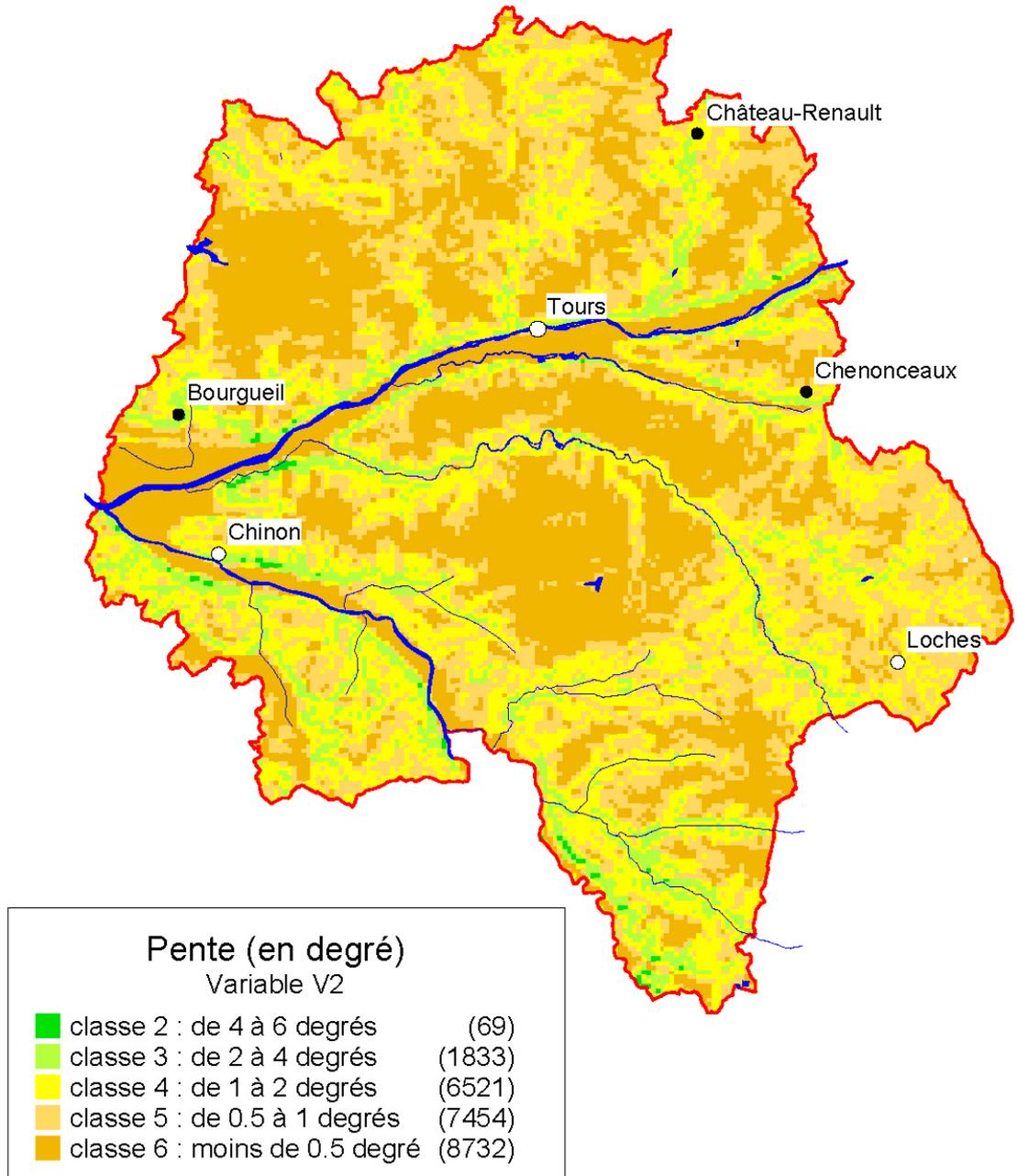


Figure 13 - Carte des pentes du sol.

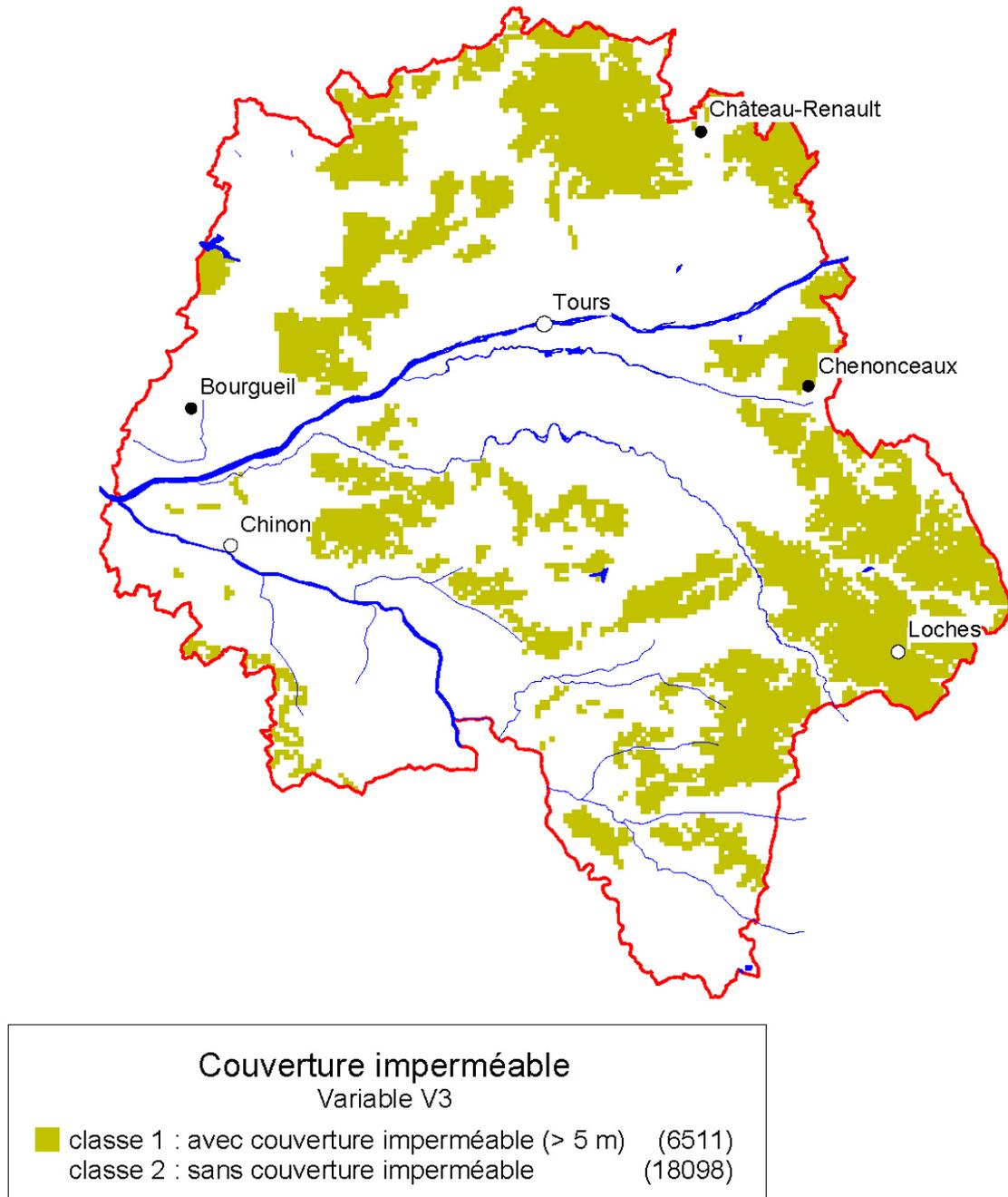


Figure 14 - Carte de la couverture imperméable.

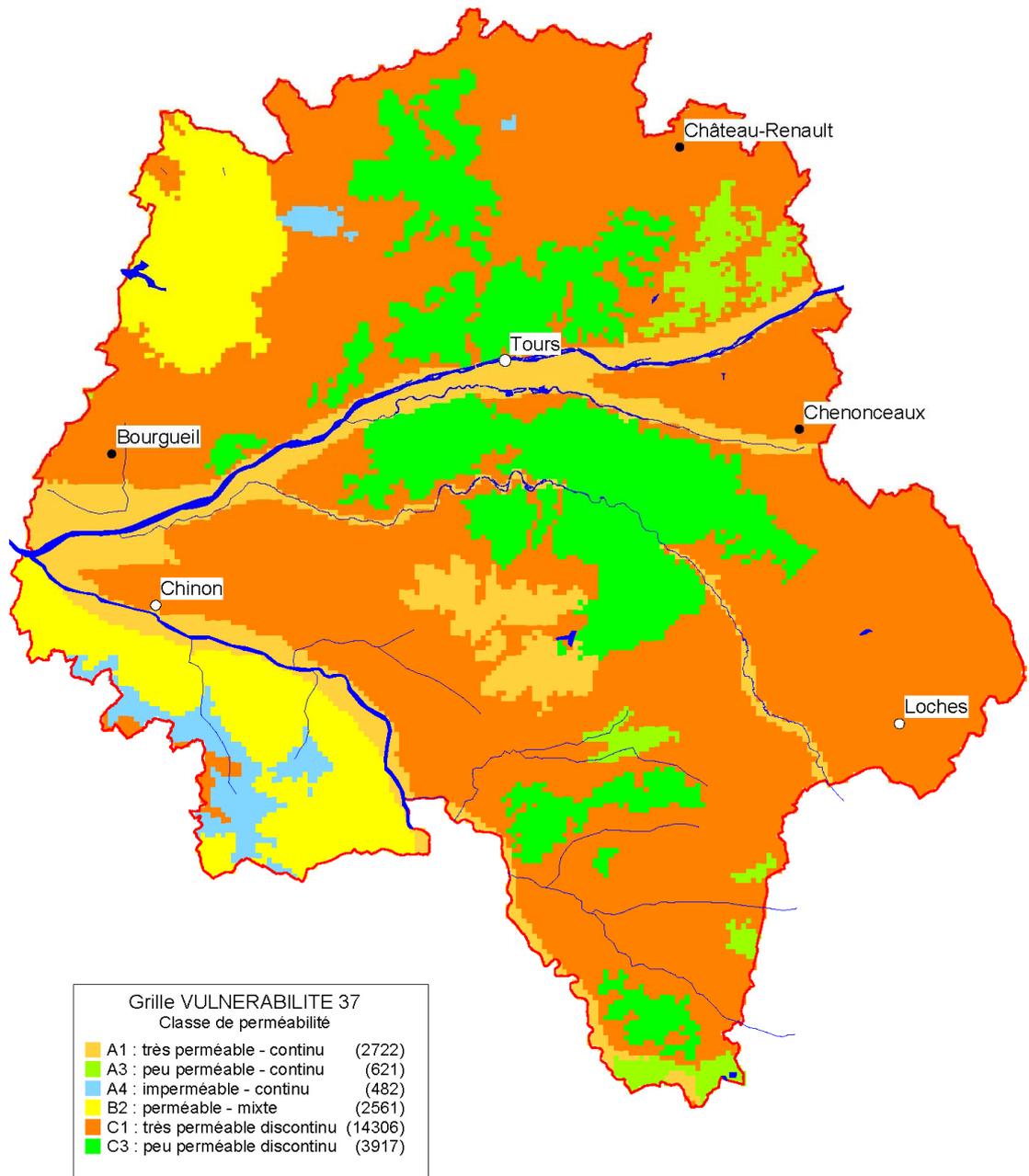


Figure 15 - Carte des perméabilités des aquifères.

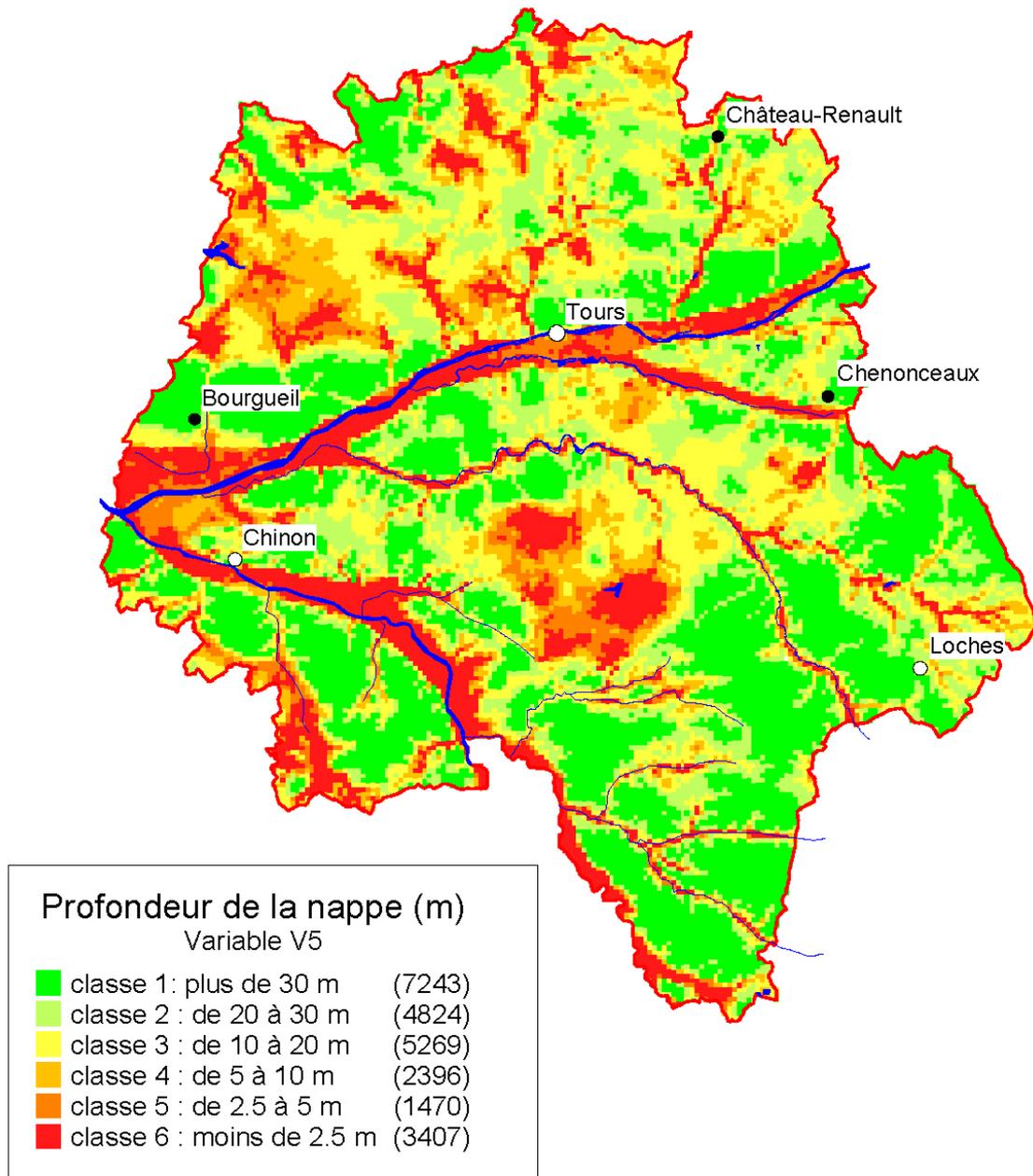


Figure 16 - Carte de la profondeur des nappes.

## 9. Calcul de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères et affectation d'une note de vulnérabilité par commune

### 9.1. CALCUL DE LA VALEUR DE LA VULNÉRABILITÉ, CHOIX DU MODÈLE DE CALCUL

On a calculé, à partir des cinq paramètres qui déterminent la vulnérabilité intrinsèque des aquifères et qui ont été présentés dans les chapitres précédents, la valeur numérique de la vulnérabilité de chacune des mailles du domaine par combinaison linéaire de ces cinq paramètres.

Cette méthode est empirique. Le choix des coefficients, appliqués aux variables, a été décidé conjointement par le SRPV et le BRGM. Il pourra être revu au cours des cartes de vulnérabilité qui seront réalisées pour les autres départements de la région Centre. Les paramètres retenus sont :

- V1 : pluie efficace ;
- V2 : pente du terrain naturel ;
- V3 : présence ou non d'une couverture imperméable ;
- V4 : perméabilité des aquifères ;
- V5 : profondeur de la nappe.

Combinaison linéaire des paramètres de calcul :

$$\text{Vulnérabilité} = a1 \times V1 + a2 \times V2 + a3 \times V3 + a4 \times V4 + a5 \times V5.$$

avec a1, a2, a3, a4 et a5 des coefficients à déterminer.

Avec ce modèle, plus la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère sera élevée, plus la valeur calculée sera grande.

Plusieurs modèles de combinaison linéaire ont été testés. Le modèle retenu conjointement par le BRGM et le GREPPES est le suivant :

$$\text{Vulnérabilité} = V1_{\text{recharge}} + V2_{\text{pente}} - 7 * V3_{\text{couv\_imp}} + 0.6 * V4_{\text{K\_aquif}} + 0.8 * V5_{\text{EP\_ZNS}}$$

où a1 = 1, a2 = 1, a3 = -7, a4 = 0,6 et a5 = 0,8.

La valeur de ces coefficients permet d'équilibrer le poids de chaque paramètre dans le calcul de la vulnérabilité des aquifères.

Le coefficient négatif ( $a_3 = -7$ ), affecté à la variable  $V_3_{\text{couv\_imp}}$ , permet de diminuer la valeur de la vulnérabilité lorsqu'il existe au droit de la maille considérée une couverture imperméable qui diminue la vulnérabilité de l'aquifère sous-jacent.

Les coefficients  $a_4$  (0,6) et  $a_5$  (0,8) ont été fixés à des valeurs inférieures à 1, afin de pondérer les variables  $V_4$  et  $V_5$  dont les valeurs maximales (10 et 12) sont les plus élevées.

Avec ce modèle, les valeurs extrêmes de la vulnérabilité sont comprises entre -3,6 et 26,2.

### • Commentaires de l'histogramme

La valeur de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères du département de l'Indre-et-Loire, calculées selon le modèle décrit ci-dessous pour les 24 609 mailles du département, est comprise entre 0,4 (valeur la plus faible) et 24,2 (valeur la plus élevée) avec une moyenne égale à 14,33. L'histogramme des valeurs calculées est indiqué sur la figure 17.

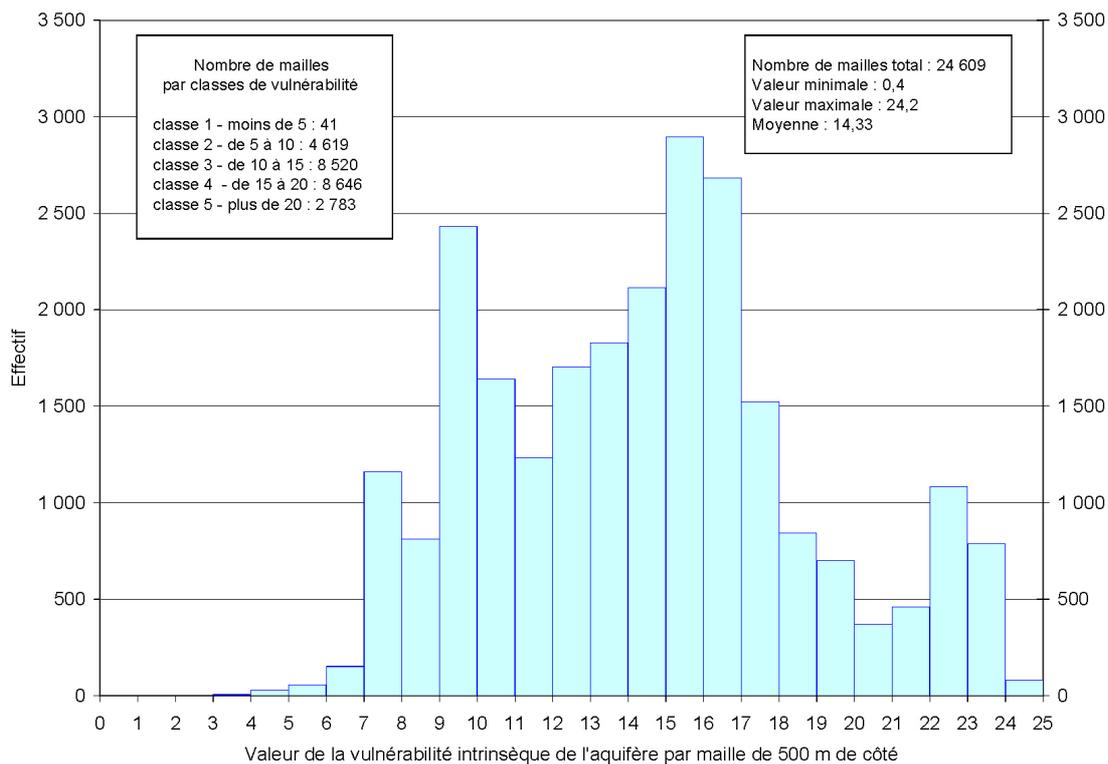


Figure 17 - Histogramme des valeurs de vulnérabilité intrinsèque des mailles du département de l'Indre-et-Loire.

À partir de ces résultats, il est possible d'identifier les cinq classes de vulnérabilité suivantes :

- classe 1 - non vulnérable : valeurs inférieures à 5 ;
- classe 2 - faiblement vulnérable : valeurs comprises entre 5 et 10 ;
- classe 3 - moyennement vulnérable : valeurs comprises entre 10 et 15 ;
- classe 4 - fortement vulnérable : valeurs comprises entre 15 et 20 ;
- classe 5 - très fortement vulnérable : valeurs supérieures à 20.

19 % du territoire du département de l'Indre-et-Loire, soient 5 760 mailles, sont soit non vulnérables (1 %), soit faiblement vulnérables (22 %), mais 41 % de ce territoire sont soit fortement vulnérables (31 %), soit très fortement vulnérables (10 %). 36 % du territoire du département possède une vulnérabilité moyenne.

#### • Commentaires de la carte de vulnérabilité par maille

Les résultats du calcul de la vulnérabilité par maille sont présentés sur la carte de la figure 18.

On voit apparaître sur cette carte, les zones les plus vulnérables du département (classe 5 - très fortement vulnérable) qui correspondent aux vallées et aux cours d'eau. Ce résultat est dû au fait que ces secteurs combinent à la fois de faibles pentes, une absence de couverture imperméable, des aquifères perméables et une nappe située à moins de 2,5 m.

Malgré l'absence d'une couverture imperméable, le secteur situé au sud-ouest de la Vienne est soit faiblement vulnérable soit moyennement vulnérable grâce d'une part à la forte profondeur de la nappe (plus de 30 m souvent), d'autre part au caractère peu perméable des aquifères. La faible valeur des pluies efficaces (de 100 à 150 mm/an) contribue également à diminuer la vulnérabilité de ce secteur.

Les secteurs situés à l'ouest de Loches et à l'ouest de Château-Renault présentent des faibles valeurs de vulnérabilité (classe 2 - faiblement vulnérable) grâce en particulier à la présence de couverture imperméable de plus de 5 m d'épaisseur.

Le centre du département, entre l'Indre et la Vienne principalement, présente des vulnérabilités fortes ou très fortes à cause de la faible profondeur de la nappe (souvent moins de 2,5 m), une faible pente du terrain (moins de 0,5 degré), un aquifère très perméable discontinu ou perméable, enfin des pluies efficaces comprises entre 150 et 200 mm.

Le secteur situé au nord-ouest de Tours reste fortement vulnérable à cause de la faible profondeur de la nappe (moins de 5 m très souvent), une pluie efficace supérieure à 200 mm/an et à l'absence d'une couverture imperméable.

Le reste du département présente une vulnérabilité moyenne avec quelques secteurs peu étendus qui sont soit faiblement soit fortement vulnérables.

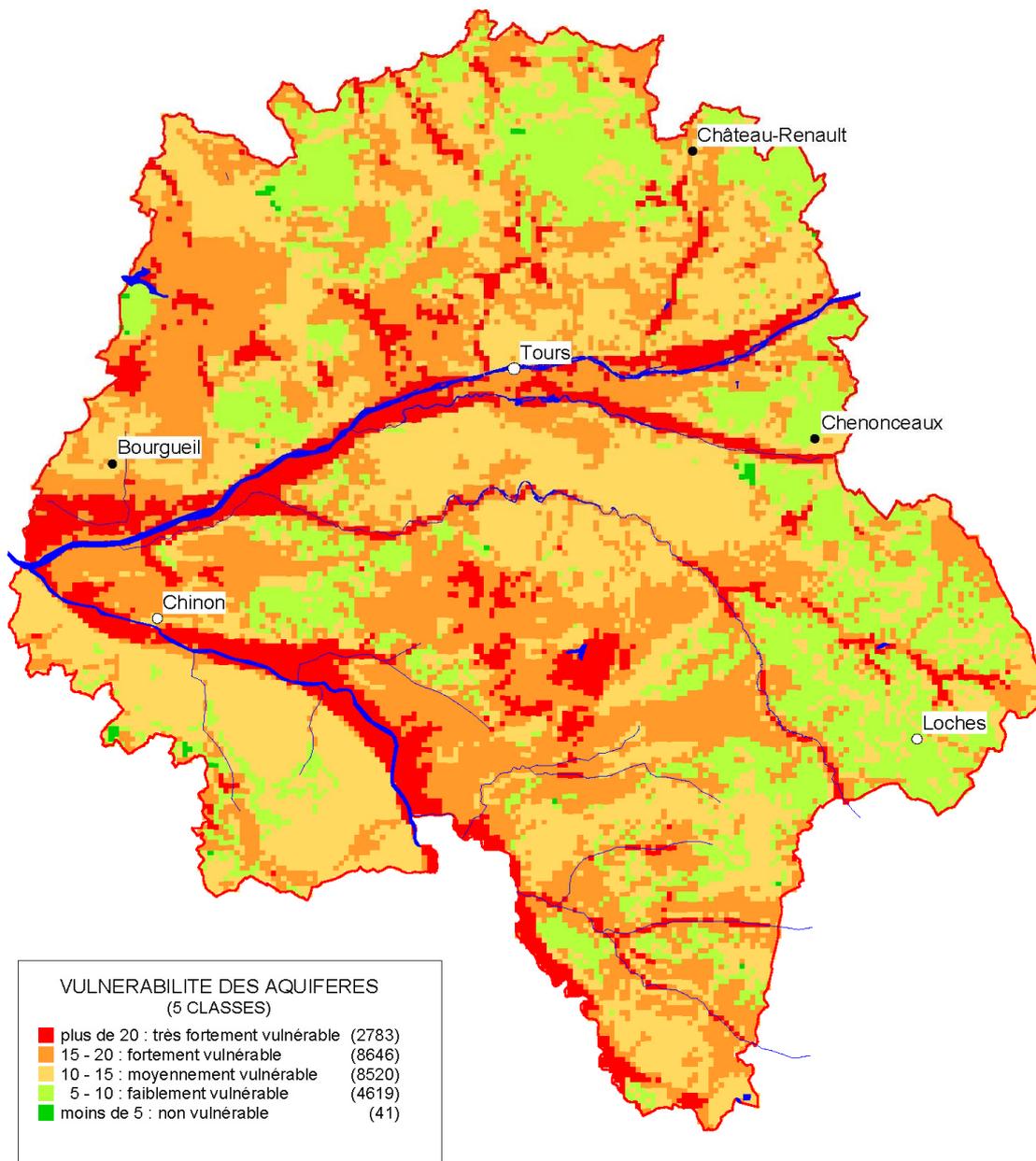


Figure 18 - Carte de vulnérabilité (valeur par maille).

## 9.2. CARTE DE VULNÉRABILITÉ PROVISOIRE DES COMMUNES DU DÉPARTEMENT

À partir de la carte de vulnérabilité par mailles de 500 m de côté du département, on a calculé la **carte de vulnérabilité intrinsèque des aquifères du département de l'Indre-et-Loire rapporté à un découpage communal**. On a attribué à chacune des 277 communes du département une note de vulnérabilité intrinsèque des aquifères comprise entre 1 et 5 qui résulte du calcul de la moyenne des valeurs des mailles situées à l'intérieur de chaque commune.

La carte de vulnérabilité obtenue est présentée sur la figure 19, et les valeurs des vulnérabilités par commune sont indiquées en annexe 1.

Le nombre de communes par classe est indiqué ci-dessous :

- classe 1 (non vulnérable : valeurs inférieures à 5) : pas de commune ;
- classe 2 (faiblement vulnérable : valeurs comprises entre 5 et 10) : 8 communes ;
- classe 3 (moyennement vulnérable : valeurs comprises entre 10 et 15) : 156 communes ;
- classe 4 (fortement vulnérable : valeurs comprises entre 15 et 20) : 99 communes ;
- classe 5 (très fortement vulnérable : valeurs supérieures à 20) : 14 communes.

Plus de la moitié des communes du département de l'Indre-et-Loire présente une vulnérabilité intrinsèque des aquifères faiblement ou moyennement vulnérable. Il reste néanmoins plus de 100 communes situées en zones fortement ou très fortement vulnérables.

Ces résultats présentent un caractère provisoire. En effet, l'établissement de la carte de vulnérabilité des autres départements de la région Centre est en cours d'élaboration. Ce n'est qu'une fois terminé le travail sur l'ensemble des six départements de la région Centre qu'il sera possible de décider une fois pour toute l'échelle de vulnérabilité en cinq classes proposée, ceci dans un souci d'homogénéisation des traitements et des interprétations.

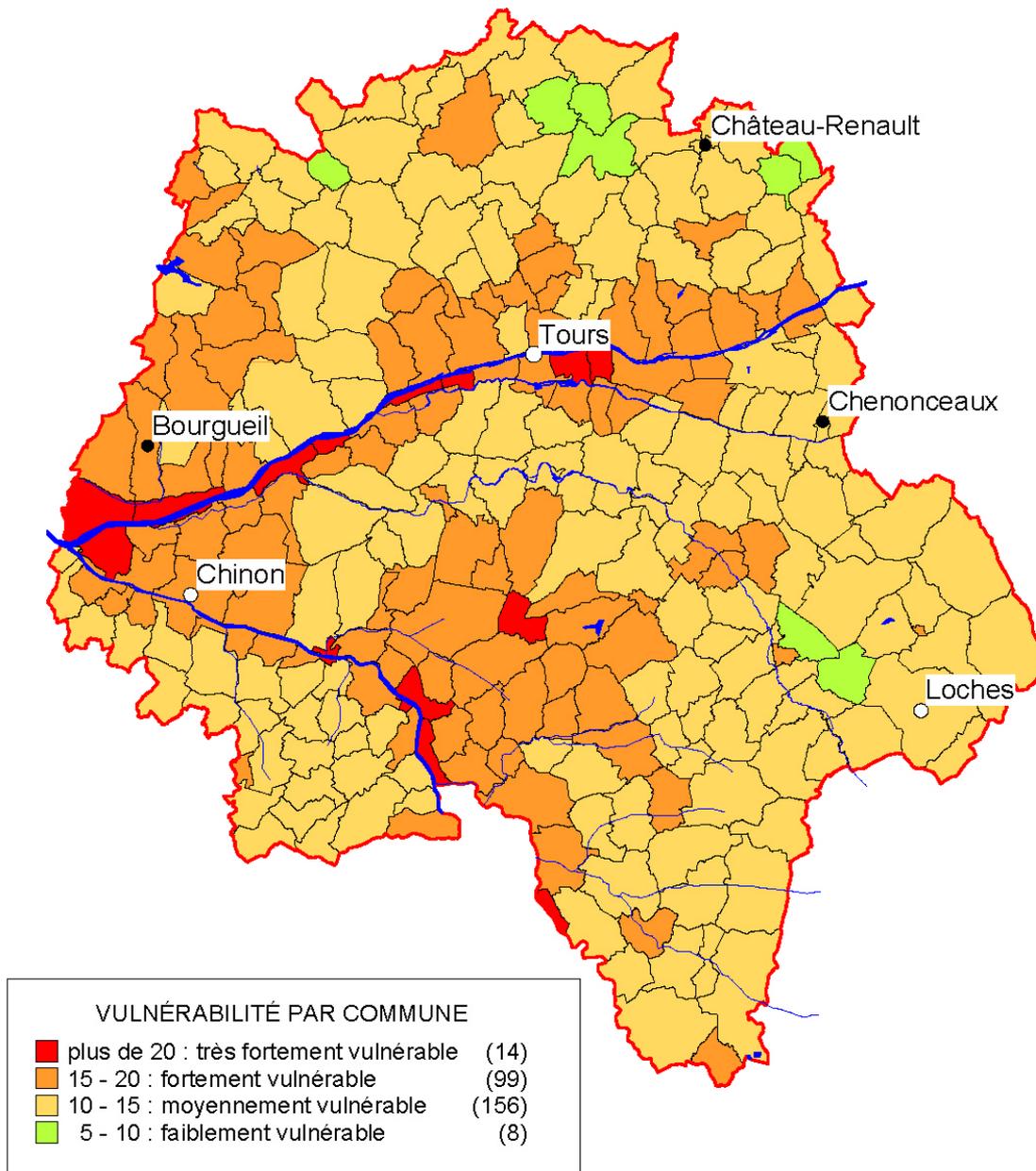


Figure 19 - Carte vulnérabilité (valeur provisoire par commune).

## 10. Conclusion

Le traitement numérique et le calcul de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères du département de l'Indre-et-Loire a été possible à partir de l'application d'une méthode basée sur un découpage géographique par mailles de 500 m de côté, en utilisant les valeurs des cinq paramètres qui sont les facteurs les plus importants dans la détermination de la vulnérabilité d'un aquifère.

Les calculs de vulnérabilité ont abouti à déterminer une note de vulnérabilité comprise entre 0 et 25 à chacune des mailles de ce découpage, et à définir ainsi une échelle de vulnérabilité en cinq classes qui vont de non vulnérable à très fortement vulnérable.

Le calcul de la vulnérabilité moyenne par commune a permis d'affecter à chaque commune du département une valeur moyenne par commune de la vulnérabilité des aquifères.

Sur les 277 communes du département, plus de la moitié présente une vulnérabilité intrinsèque des aquifères faiblement ou moyennement vulnérable, et 100 communes sont situées en zones fortement ou très fortement vulnérables.

Ces résultats présentent un caractère provisoire. En effet, ce travail est susceptible d'être étendu aux autres départements de la région Centre, ce qui pourra, le cas échéant, amener à revoir l'échelle de vulnérabilité en cinq classes, ceci dans un souci d'homogénéisation des traitements et des interprétations.

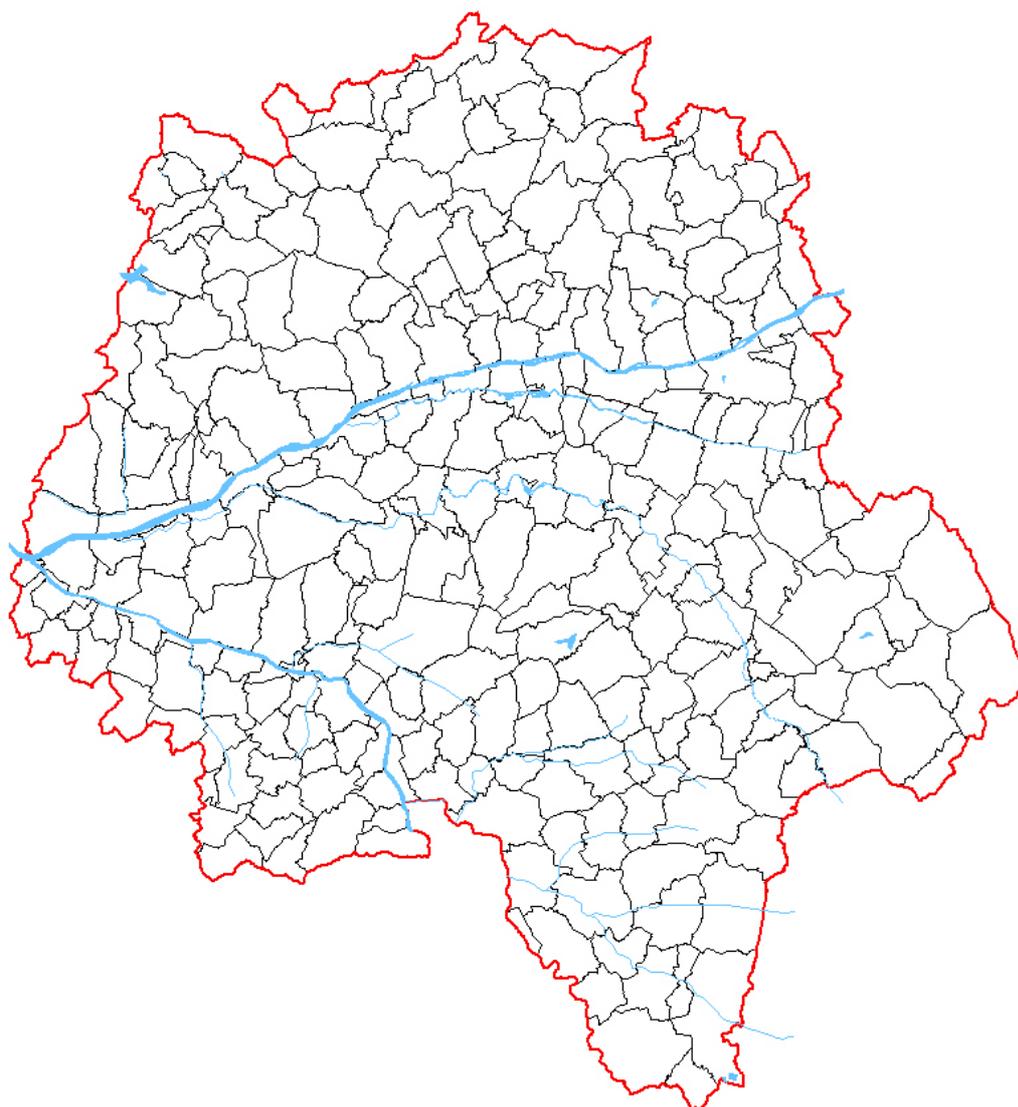


## **Annexe 1**

### **Les communes du département de l'Indre-et-Loire**



## Les communes du département de l'Indre-et-Loire



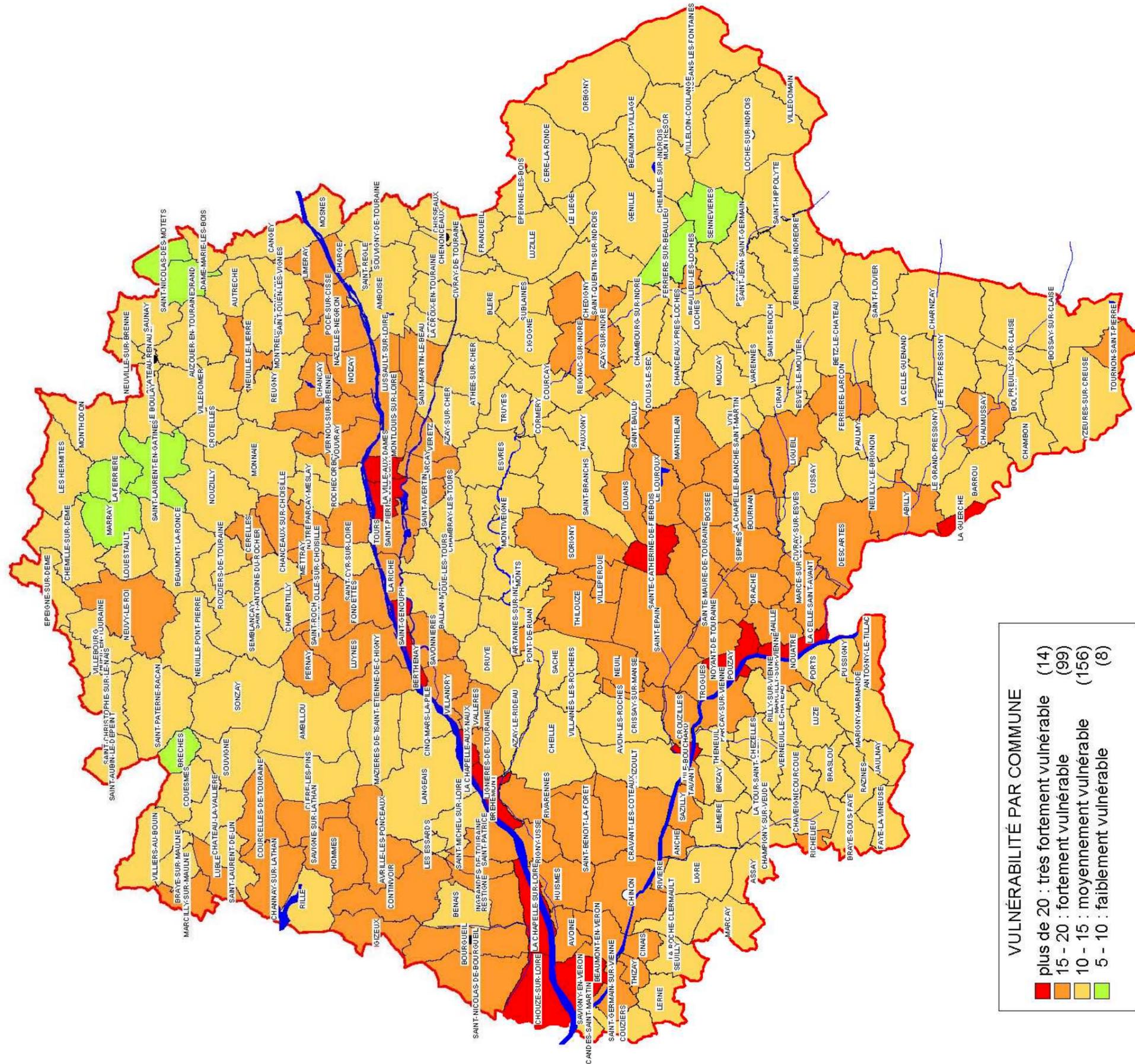
Numéro INSEE	Commune	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Vulnérabilité
37001	ABILLY	30.3	16
37002	AMBILLOU	48.9	13
37003	AMBOISE	40.7	14
37004	ANCHE	8.0	16
37005	ANTOGNY-LE-TILLAC	17.3	15
37006	ARTANNES-SUR-INDRE	21.0	13
37007	ASSAY	14.5	11
37008	ATHEE-SUR-CHER	34.5	12
37009	AUTRECHE	20.7	13
37010	AUZOUER-EN-TOURAIN	34.1	15
37011	AVOINE	12.6	19
37012	AVON-LES-ROCHES	33.3	12
37013	AVRILLE-LES-PONCEAUX	32.8	17
37014	AZAY-LE-RIDEAU	27.3	14
37015	AZAY-SUR-CHER	22.9	14
37016	AZAY-SUR-INDRE	13.9	17
37018	BALLAN-MIRE	26.2	14
37019	BARROU	30.7	14
37020	BEAULIEU-LES-LOCHES	3.9	16
37022	BEAUMONT-EN-VERON	18.8	18
37021	BEAUMONT-LA-RONCE	39.0	12
37023	BEAUMONT-VILLAGE	19.3	10
37024	BENAI	20.1	15
37025	BERTHENAY	7.2	22
37026	BETZ-LE-CHATEAU	46.9	12
37027	BLERE	30.8	11
37028	BOSSAY-SUR-CLAISE	65.6	14
37029	BOSSEE	19.0	20
37031	BOURGUEIL	33.0	16
37032	BOURNAN	14.7	15
37033	BOUSSAY	27.5	15
37034	BRASLOU	15.8	11
37035	BRAYE-SOUS-FAYE	15.7	13
37036	BRAYE-SUR-MAULNE	11.8	13
37037	BRECHES	11.6	9
37038	BREHEMONT	12.7	23
37039	BRIDORE	14.5	11
37040	BRIZAY	14.3	12
37041	BUEIL-EN-TOURAIN	18.1	13
37042	CANDES-SAINT-MARTIN	5.8	15
37043	CANGEY	23.0	14
37046	CERE-LA-RONDE	49.2	12
37047	CERELLES	12.3	15
37048	CHAMBON	17.9	15
37049	CHAMBOURG-SUR-INDRE	28.4	13
37050	CHAMBRAY-LES-TOURS	19.4	14
37051	CHAMPIGNY-SUR-VEUDE	16.2	12
37052	CHANCAY	15.0	16
37053	CHANCEAUX-PRES-LOCHES	14.6	12
37054	CHANCEAUX-SUR-CHOISILLE	18.5	16
37055	CHANNAY-SUR-LATHAN	28.7	17
37059	CHARENTILLY	14.1	14
37060	CHARGE	8.5	15
37061	CHARNIZAY	51.7	14
37062	CHATEAU-LA-VALLIERE	21.9	13
37063	CHATEAU-RENAULT	3.5	14
37064	CHAUMUSSAY	19.2	16
37065	CHAVEIGNES	21.3	13

Numéro INSEE	Commune	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Vulnérabilité
37066	CHEDIGNY	23.2	16
37067	CHEILLE	46.3	14
37068	CHEMILLE-SUR-DEME	33.5	15
37069	CHEMILLE-SUR-INDROIS	24.9	14
37070	CHENONCEAUX	4.3	12
37071	CHEZELLES	15.2	12
37072	CHINON	39.0	18
37073	CHISSEAUX	11.8	12
37074	CHOUZE-SUR-LOIRE	28.0	21
37075	CIGOGNE	21.8	13
37076	CINAIS	8.8	18
37077	CINQ-MARS-LA-PILE	20.1	15
37078	CIRAN	13.9	13
37079	CIVRAY-DE-TOURAIN	22.9	12
37080	CIVRAY-SUR-ESVES	13.3	15
37081	CLERE-LES-PINS	35.6	15
37082	CONTINVOIR	41.2	16
37083	CORMERY	6.1	15
37084	COUESMES	19.1	12
37085	COURCAY	24.8	13
37086	COURCELLES-DE-TOURAIN	25.7	15
37087	COURCOUE	15.7	10
37088	COUZIERS	12.1	14
37089	CRAVANT-LES-COTEAUX	38.2	15
37090	CRISSAY-SUR-MANSE	7.5	15
37092	CROTELLES	15.9	11
37093	CROUZILLES	14.5	20
37094	CUSSAY	25.8	14
37095	DAME-MARIE-LES-BOIS	8.9	10
37115	DESCARTES	38.1	16
37096	DIERRE	10.3	12
37097	DOLUS-LE-SEC	27.3	13
37098	DRACHE	18.5	16
37099	DRUYE	22.9	13
37100	EPEIGNE-LES-BOIS	14.5	11
37101	EPEIGNE-SUR-DEME	21.1	12
37103	ESVES-LE-MOUTIER	10.5	13
37104	ESVRES	35.9	14
37105	FAYE-LA-VINEUSE	17.6	13
37107	FERRIERE-LARCON	20.9	15
37108	FERRIERE-SUR-BEAULIEU	19.6	10
37109	FONDETTES	31.8	18
37110	FRANCUEIL	12.9	13
37111	GENILLE	63.1	11
37112	GIZEUX	21.1	18
37117	HOMMES	29.6	17
37118	HUISMES	23.8	18
37120	INGRANDES-DE-TOURAIN	9.5	15
37121	JAULNAY	14.8	14
37122	JOUE-LES-TOURS	32.4	15
37044	LA CELLE-GUENAND	36.7	13
37045	LA CELLE-SAINT-AVANT	17.8	18
37056	LA CHAPELLE-AUX-NAUX	5.3	23
37057	LA CHAPELLE-BLANCHE-SAINT-MARTIN	28.5	19
37058	LA CHAPELLE-SUR-LOIRE	19.2	21
37091	LA CROIX-EN-TOURAIN	15.0	14
37106	LA FERRIERE	15.8	10
37114	LA GUERCHE	5.3	22

Numéro INSEE	Commune	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Vulnérabilité
37151	LA MEMBROLLE-SUR-CHOISILLE	6.9	17
37195	LA RICHE	8.2	20
37202	LA ROCHE-CLERMAULT	18.0	14
37260	LA TOUR-SAINT-GELIN	13.5	12
37273	LA VILLE-AUX-DAMES	8.0	20
37123	LANGAIS	60.4	11
37124	LARCAY	11.2	17
37030	LE BOULAY	20.1	11
37113	LE GRAND-PRESSIGNY	39.6	15
37127	LE LIEGE	11.2	11
37136	LE LOUROUX	28.9	18
37184	LE PETIT-PRESSIGNY	32.1	14
37125	LEMERE	19.8	12
37126	LERNE	16.4	14
37102	LES ESSARDS	4.2	15
37116	LES HERMITES	32.6	12
37128	LIGNIERES-DE-TOURAIN	10.0	18
37129	LIGRE	27.7	12
37130	LIGUEIL	29.7	16
37119	L'ILE-BOUCHARD	3.5	22
37131	LIMERAY	14.4	16
37132	LOCHES	27.1	15
37133	LOCHE-SUR-INDROIS	74.1	10
37134	LOUANS	18.0	17
37135	LOUESTAULT	16.5	12
37137	LUBLE	12.6	16
37138	LUSSAULT-SUR-LOIRE	9.4	16
37139	LUYNES	34.0	19
37140	LUZE	20.3	12
37141	LUZILLE	40.7	12
37142	MAILLE	15.7	20
37143	MANTHELAN	39.6	18
37144	MARCAY	21.4	12
37145	MARCE-SUR-ESVES	11.0	15
37146	MARCILLY-SUR-MAULNE	14.6	16
37147	MARCILLY-SUR-VIENNE	11.0	17
37148	MARIGNY-MARMANDE	30.8	14
37149	MARRAY	23.8	10
37150	MAZIERES-DE-TOURAIN	34.2	14
37152	METTRAY	10.3	16
37153	MONNAIE	39.4	15
37154	MONTBAZON	6.5	15
37155	MONTHODON	33.9	13
37156	MONTLOUIS-SUR-LOIRE	24.6	18
37157	MONTRESOR	1.0	20
37158	MONTREUIL-EN-TOURAIN	25.1	13
37159	MONTS	27.3	15
37160	MORAND	14.6	10
37161	MOSNES	14.5	11
37162	MOUZAY	23.7	14
37163	NAZELLES-NEGRON	22.3	16
37165	NEUIL	18.8	17
37166	NEUILLE-LE-LIERRE	16.6	17
37167	NEUILLE-PONT-PIERRE	39.0	14
37168	NEUILLY-LE-BRIGNON	22.0	14
37169	NEUVILLE-SUR-BRENNE	6.9	12
37170	NEUVY-LE-ROI	47.5	15
37171	NOIZAY	17.5	19

Numéro INSEE	Commune	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Vulnérabilité
37172	NOTRE-DAME-D'OE	7.7	15
37173	NOUANS-LES-FONTAINES	63.3	12
37174	NOUATRE	9.7	23
37175	NOUZILLY	40.2	12
37176	NOYANT-DE-TOURAINES	13.7	18
37177	ORBIGNY	65.9	12
37178	PANZOULT	34.6	15
37179	PARCAY-MESLAY	14.1	15
37180	PARCAY-SUR-VIENNE	18.7	19
37181	PAULMY	26.0	13
37182	PERNAY	17.6	18
37183	PERRUSSON	28.9	13
37185	POCE-SUR-CISSE	10.6	15
37186	PONT-DE-RUAN	5.7	15
37187	PORTS	11.0	15
37188	POUZAY	14.1	21
37189	PREUILLY-SUR-CLAISE	12.0	15
37190	PUSSIGNY	8.5	14
37191	RAZINES	14.7	14
37192	REIGNAC-SUR-INDRE	22.4	16
37193	RESTIGNE	21.3	18
37194	REUGNY	29.7	15
37196	RICHELIEU	5.1	16
37197	RIGNY-USSE	14.0	18
37198	RILLE	24.0	12
37199	RILLY-SUR-VIENNE	13.1	14
37200	RIVARENNES	18.9	17
37201	RIVIERE	3.7	18
37203	ROCHECORBON	17.1	14
37204	ROUZIERS-DE-TOURAINES	18.2	13
37205	SACHE	28.3	15
37206	SAINT-ANTOINE-DU-ROCHER	24.2	13
37207	SAINT-AUBIN-LE-DEPEINT	15.2	12
37208	SAINT-AVERTIN	13.3	18
37209	SAINT-BAULD	4.1	16
37210	SAINT-BENOIT-LA-FORET	35.3	17
37211	SAINT-BRANCHES	51.2	14
37213	SAINT-CHRISTOPHE-SUR-LE-NAIS	18.3	12
37214	SAINT-CYR-SUR-LOIRE	13.5	15
37212	SAINTE-CATHERINE-DE-FIERBOIS	15.5	20
37226	SAINTE-MAURE-DE-TOURAINES	40.4	16
37216	SAINT-EPAIN	62.7	16
37217	SAINT-ETIENNE-DE-CHIGNY	21.1	16
37218	SAINT-FLOVIER	29.2	12
37219	SAINT-GENOUPH	4.7	22
37220	SAINT-GERMAIN-SUR-VIENNE	13.4	16
37221	SAINT-HIPPOLYTE	33.0	12
37222	SAINT-JEAN-SAINT-GERMAIN	21.3	13
37223	SAINT-LAURENT-DE-LIN	13.9	15
37224	SAINT-LAURENT-EN-GATINES	31.6	10
37225	SAINT-MARTIN-LE-BEAU	18.4	15
37227	SAINT-MICHEL-SUR-LOIRE	17.5	13
37228	SAINT-NICOLAS-DE-BOURGUEIL	36.5	16
37229	SAINT-NICOLAS-DES-MOTETS	12.8	10
37230	SAINT-OUEN-LES-VIGNES	18.6	13
37231	SAINT-PATERNE-RACAN	47.8	12
37232	SAINT-PATRICE	17.2	16
37233	SAINT-PIERRE-DES-CORPS	11.3	22

<b>Numéro INSEE</b>	<b>Commune</b>	<b>Superficie (Km²)</b>	<b>Vulnérabilité</b>
37234	SAINT-QUENTIN-SUR-INDROIS	27.2	15
37236	SAINT-REGLE	6.5	14
37237	SAINT-ROCH	4.8	17
37238	SAINT-SENOCH	24.1	12
37240	SAUNAY	26.0	10
37241	SAVIGNE-SUR-LATHAN	17.6	16
37242	SAVIGNY-EN-VERON	21.3	20
37243	SAVONNIERES	16.5	16
37244	SAZILLY	10.6	16
37245	SEMBLANCAY	35.7	13
37246	SENNEVIERES	23.5	10
37247	SEPMES	28.6	17
37248	SEUILLY	15.7	12
37249	SONZAY	48.3	13
37250	SORIGNY	43.4	15
37251	SOUVIGNE	24.4	13
37252	SOUVIGNY-DE-TOURAINES	26.2	12
37253	SUBLAINES	14.4	13
37254	TAUXIGNY	36.8	15
37255	TAVANT	5.2	15
37256	THENEUIL	9.8	15
37257	THILOUZE	33.8	17
37258	THIZAY	6.9	15
37259	TOURNON-SAINT-PIERRE	14.8	16
37261	TOURS	34.4	17
37262	TROGUES	9.4	18
37263	TRUYES	16.4	14
37264	VALLERES	14.7	15
37265	VARENNES	11.1	14
37266	VEIGNE	26.6	14
37267	VERETZ	13.9	18
37268	VERNEUIL-LE-CHATEAU	8.4	10
37269	VERNEUIL-SUR-INDRE	39.6	11
37270	VERNOU-SUR-BRENNE	25.9	16
37271	VILLAINES-LES-ROCHERS	12.5	11
37272	VILLANDRY	17.8	17
37274	VILLEBOURG	12.4	13
37275	VILLEDOMAIN	16.5	11
37276	VILLEDOMER	35.5	13
37277	VILLELOIN-COULANGE	34.6	12
37278	VILLEPERDUE	12.0	19
37279	VILLIERS-AU-BOUIN	29.8	15
37280	VOU	22.0	15
37281	VOUVRAY	22.9	15
37282	YZEURES-SUR-CREUSE	55.4	15



Carte de vulnérabilité du département de l'Indre-et-Loire. Découpage par commune.



## **Annexe 2**

### **Création d'un maillage de mailles carrées de 500 m de côté, couvrant l'ensemble de la région Centre**



Le territoire de la région Centre a été découpé en mailles carrées de 500 m de côté. Ces mailles sont inscrites dans un rectangle dont les coordonnées extrêmes, exprimées en mètre en projection Lambert 2 étendu, sont les suivantes (voir fig. 1) :

X min =	425 000 m
Y min =	2 440 000 m
X max =	665 000 m
Y max =	2 145 000 m

Les dimensions de ce rectangle sont : 240 km sur l'axe des X et 295 km sur l'axe des Y.

Ce maillage comprend au total 480 colonnes, identifiées par une ou plusieurs lettres (A, B, C, ..., RL), et 590 lignes numérotées de 1 à 590. Chaque maille possède un identifiant constitué de la lettre associée à sa colonne, suivie du numéro de la ligne (A1, B1, ..., A2, B2, ..., RL590) (voir fig. 2 et 3). L'ensemble de la grille comprend au total 283 200 mailles.

Liste des champs du fichier des mailles de la grille (voir tabl. 1) :

- **Identifiant\_maille** : c'est l'identifiant de la maille qui est constitué des lettres associées à la colonne et à la ligne de la maille. Chaque maille de la grille est reconnue par son identifiant qui est différent pour chacune d'entre elles.
- **N\_colonne** : l'identifiant de la colonne, constitué d'une ou plusieurs lettres (de A à RL).
- **N\_ligne** : numéro de la ligne (de 1 à 590).
- **X\_centre\_maille** : coordonnée X du centre de la maille (exprimé en mètre).
- **Y\_centre\_maille** : coordonnée Y du centre de la maille (exprimé en mètre).
- **Département** : numéro du département auquel appartient la maille.
- **Commune** : numéro INSEE de la commune à laquelle appartient la maille.

Identifiant_maille	N_colonne	N_ligne	X_centre_maille	Y_centre_maille	Département	Commune
E387	E	387	427 250	2 246 750	37	37042
E394	E	394	427 250	2 243 250	37	37088
E395	E	395	427 250	2 242 750	37	37088
F385	F	385	427 750	2 247 750	37	37042
F386	F	386	427 750	2 247 250	37	37042
F387	F	387	427 750	2 246 750	37	37042
F388	F	388	427 750	2 246 250	37	37042
F392	F	392	427 750	2 244 250	37	37088
F393	F	393	427 750	2 243 750	37	37088

Tableau 1 - Les champs du fichier des mailles de la grille.

On présente sur le tableau 2 le nombre de mailles par département.

Département	Numéro	Nombre de communes	Nombre de mailles de 500 m	Superficie (Km <sup>2</sup> )
Cher	18	290	29 227	7 307
Eure-et-Loir	28	404	23 745	5 936
Indre	36	247	27 596	6 899
Indre-et-Loire	37	277	24 609	6 152
Loir-et-Cher	41	291	25 692	6 423
Loiret	45	337	27 252	6 813

*Tableau 2 - Nombre de mailles pour chaque département de la région Centre.*

On a présenté sur les figures 4 et 5 l'affectation du numéro du département et de la commune de chaque maille. La règle retenue consiste à attribuer le numéro de département et le numéro INSEE de la commune à une maille lorsque le centre de celle-ci est situé à l'intérieur du département ou de la commune. Il en résulte sur ces limites administratives un décalage qui provient de la discrétisation du domaine en mailles de 500 m.

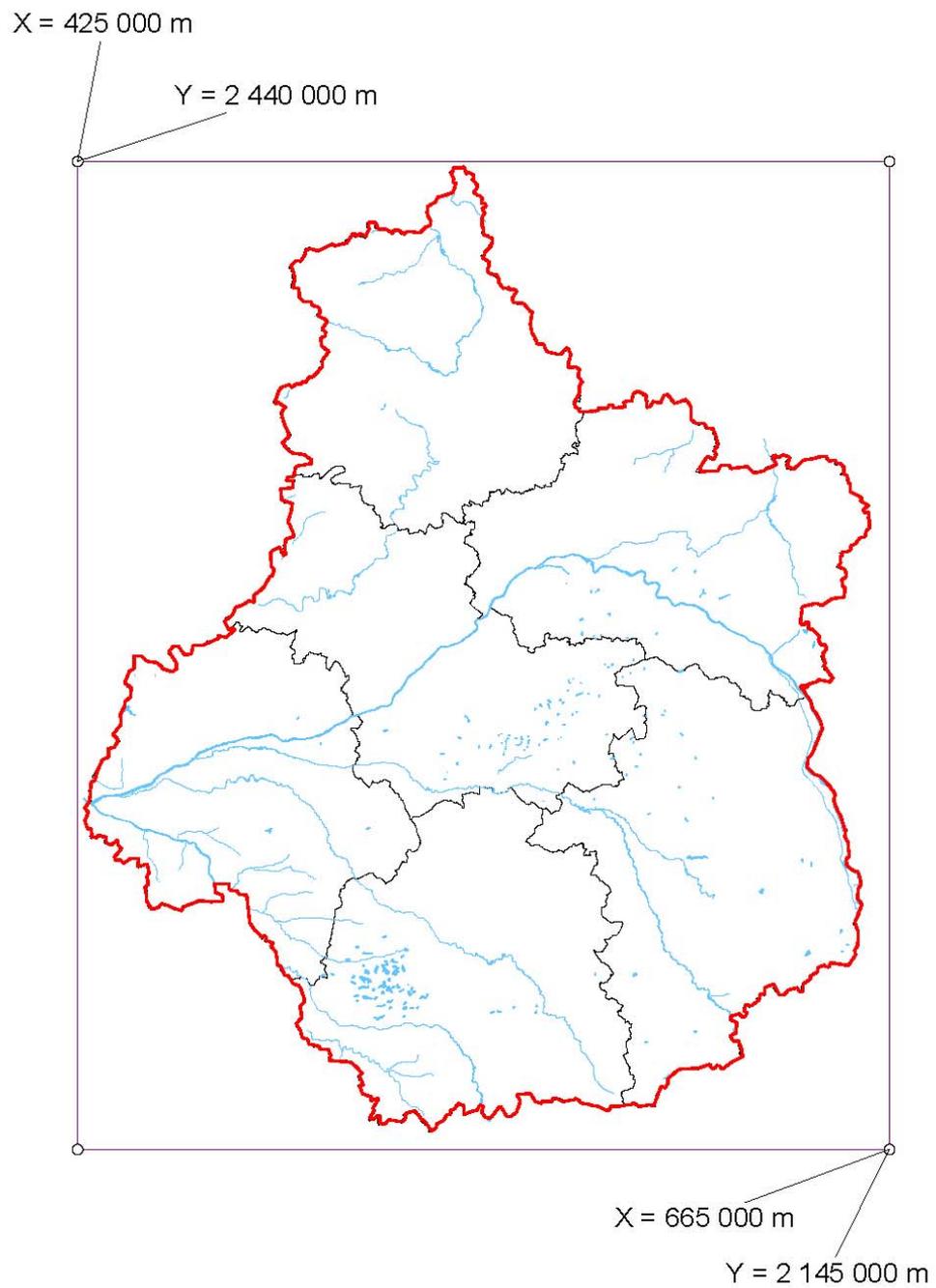


Figure 1 - Carte des limites administratives (région Centre et départements) (BD CARTO de l'IGN) et du cadre de la grille de découpage.

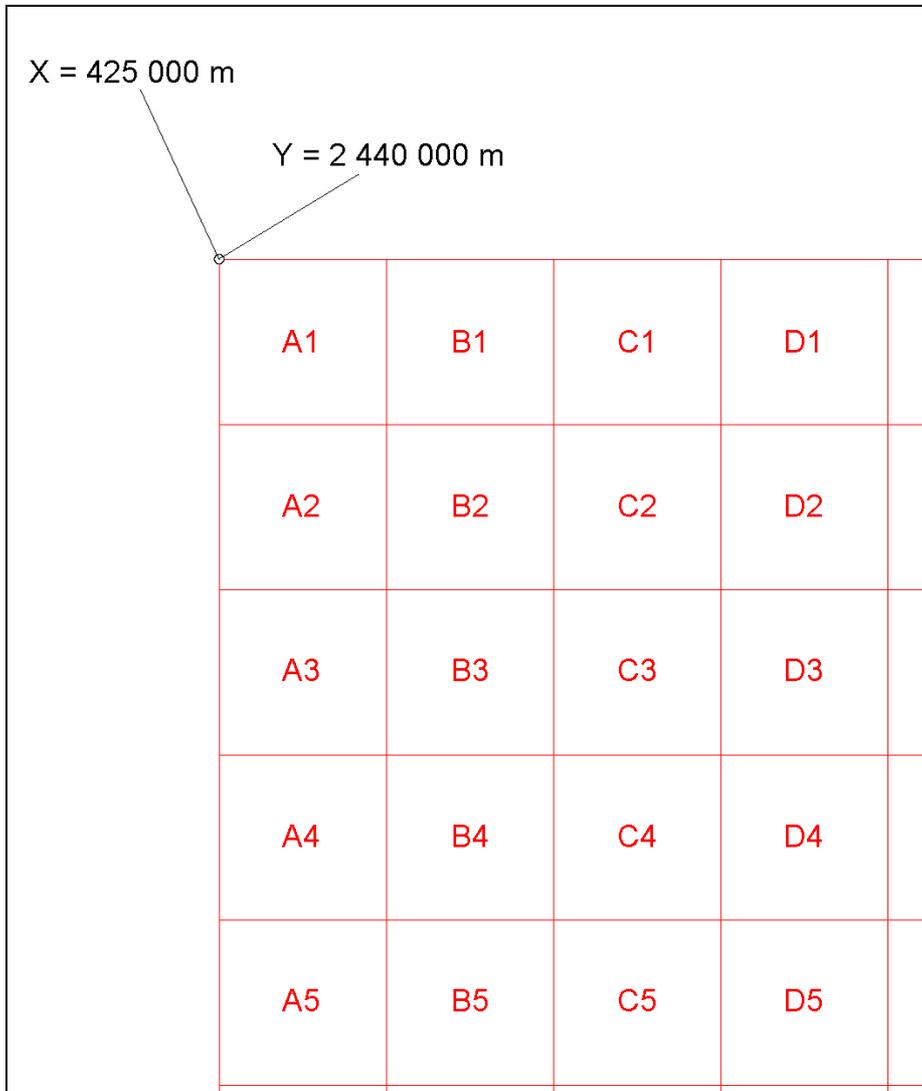


Figure 2 - Mailles du coin supérieur gauche de la grille avec leur identifiant.

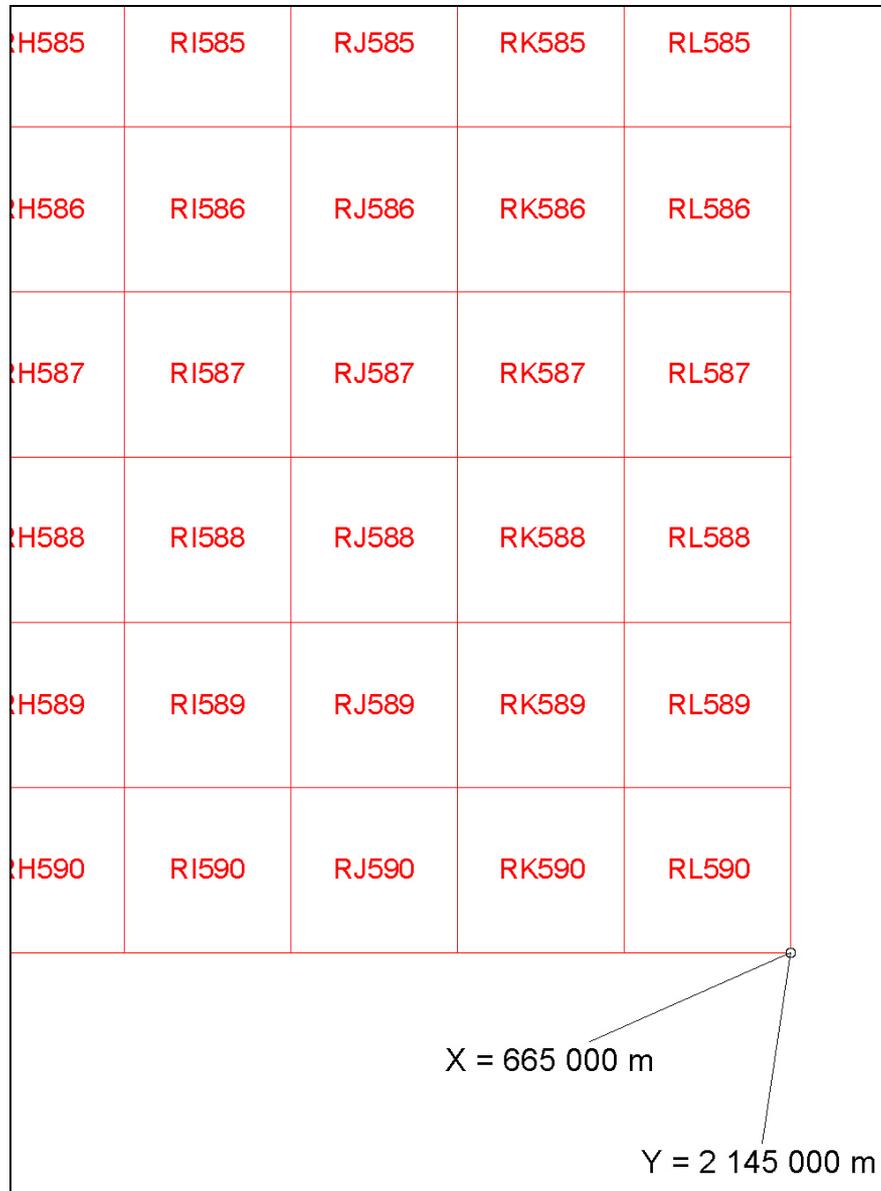


Figure 3 - Mailles du coin inférieur droit de la grille avec leur identifiant.



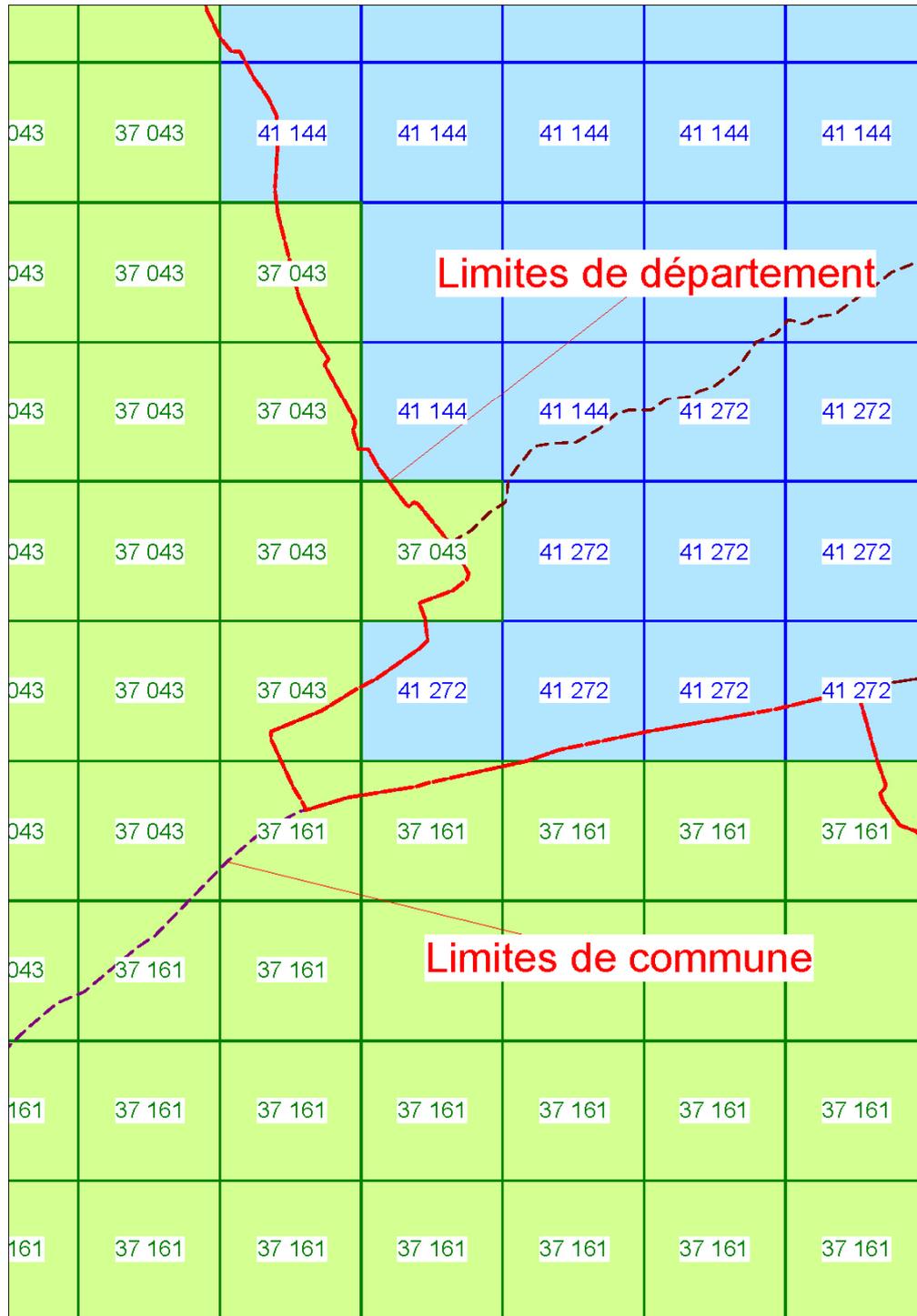


Figure 5 - Affectation du numéro INSEE de la commune à chaque maille.



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional Centre**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 31 92